مؤسسهٔ نشر جهاد

راهنمای علوم فنی

(رشته‌های الکترونیک، برق، کامپیوتر)

مؤلفین: Rosemarie Buhlman
und Anneliese Fearns

مترجم: کیجا پرویز

بولمان، رزماری Buhlmann, Rosemarie
راهنمای علوم فنی (رشته‌های الکترونیک، برق و کامپیوتر)/
مؤلفین [رزماری بولمان، آنه‌لیزه فرنس]؛ مترجم کیجا پرویز.ــ
تهران: مؤسسه نشر جهاد، ۱۳۸۰.
۴۱۰ ص. : مصور، جدول.
ISBN 964-6022-86-3
فهرستنویسی براساس اطلاعات فیپا.
عنوان به آلمانی: Hinfuhrung zur naturwissenschaftlich technischen fachsprache
کتابنامه: ص. ۳۹۶ - ۴۰۰.
۱. الکترونیک -- راهنمای آموزشی. ۲. برق -- راهنمای آموزشی. ۳. کامپیوتر -- راهنمای آموزشی.
الف. فرنس، آنه‌لیزه، Fearns, Anneliese ب. پرویز، کیجا، ۱۳۳۹ -، مترجم. ج. مؤسسه نشر جهاد.
د. عنوان.
TK ۷۸۶۰ /۲ب۹/۲ ۶۲۱/۳۸۱۰۷
کتابخانه ملی ایران ۳۲۷۶ - ۸۰م
محل نگهداری:

نام کتاب: *راهنمای علوم فنی*
(رشته‌های الکترونیک، برق و کامپیوتر)
ترجمه کتاب: Hinführung Zur naturwissenschaftlich technischen Fachsprache (Max Hueber Verlag)
مترجم: کیجا پرویز
ناشــر: مؤسسه نشر جهاد وابسته به جهاد دانشگاهی
لیتوگرافی: *آبرنگ*
چاپ: محمد
تیراژ: ۳۰۰۰
نوبت چاپ: *اول* - ۱۳۸۰
قیمت: ۲۴۰۰۰ *ریال*
شابک: ۳-۸۶-۶۰۲۲-۹۶۴
ISBN: 964-6022-86-3

نشانی: تهران - صندوق پستی ۷۶۹-۱۳۱۴۵
تلفن: ۶۴۹۵۶۹۹ - ۶۱۱۳۳۵۴ **تلفکس:** ۶۴۰۸۴۶۵

راهنمای علوم فنی

(رشته‌های الکترونیک، برق و کامپیوتر)

Hinführung zur naturwissenschaftlich - technischen Fachsprache

مؤلفین:

Rosemarie Buhlmann, Anneliese Fearns

مترجم: کیجا پرویز

تاریخ: ۱۳۷۶/۱۰/۲۱

بنام خداوند جان و خرد
کزین برتر اندیشه برنگذرد

تقریظ

اهمیت رشته‌های مختلف علوم فنی بر کسی پوشیده نیست. درس‌های الکترومغناطیس - میدان و موج و کاربرد آنها از دروس پایه‌ای در صنعت برق محسوب می‌شوند. در تکنولوژی جدید رشته‌ای وجود ندارد که از الکترومغناطیس بهره‌ای نبرده باشد.

جهشی که در علوم و تکنولوژی بطور اعم در قرن بیستم بخصوص در نیمه دوم این قرن نصیب انسانها شده است، نسبت به قرون گذشته بسیار عظیم و بزرگ است. شکستن اتم: مسافرتهای فضائی، رفتن به کره ماه، کشف اشعه لیزر و ... همه و همه در این قرن نصیب انسانها شده است.

کتاب: "راهنمای علوم فنی"، رشته‌های الکترونیک - برق و کامپیوتر

یکی از کتابهای مفیدی است که در چهارفصل شامل: مدار جریانهای الکتریکی - میدانهای الکتریکی و مغناطیسی - مدار جریانهای الکتریکی متناوب و بالاخره ماشینهای الکتریکی از متن آلمانی به زبان فارسی برگردانده شده است. این کتاب با دارا بودن مثالهای زنده و شکلهای گویا خواننده را به استفاده صحیح از برق و الکترونیک آشنا می‌کند و چه بسا مسائل بغرنج و پیچیده را به ساده‌ترین وجه بیان می‌دارد.

این کتاب توسط سرکار خانم کیجا پرویز که سابقه زیادی در ترجمه کتابهای فنی دارند به‌زبانی ساده و روان ترجمه شده است و می‌تواند به‌عنوان یک کتاب پایه در دانشکده‌های فنی و دانشگاهها مورد استفاده قرار گیرد. موفقیت مترجم محترم را از خداوند توانا خواستار است.

دکتر محمود ثقفی

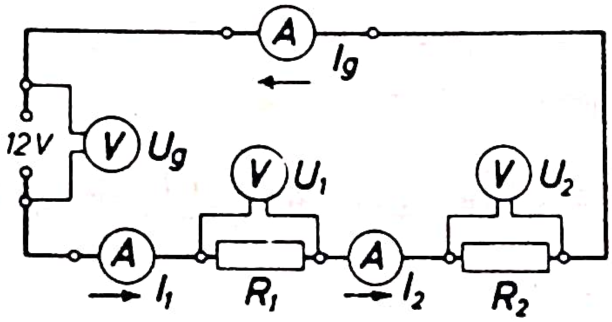
فصل اول

مدارهای جریان الکتریکی ساده و انشعابی

اتصال سری و موازی مصرف‌کننده‌ها

به‌طورکلی به علت وجود موارد مختلف کاربرد جریان الکتریکی در زندگی روزانه و در صنعت استفاده از مدارهای پیچیده نیز ضروری می‌باشد. اما اجازه دهید نخست به دو مدار اصلی و مهمی اشاره کنیم که آنها را «اتصال سری و موازی» می‌نامند.

آزمایش ۱ ـ اتصال سری (تصویر شمارهٔ ۱)



شکل ۱ : اتصال سری مصرف‌کننده‌ها

در اینجا دو مقاومت (مصرف‌کننده) $R_۱$ و $R_۲$ طوری در یک مدار بسته شده‌اند که در یک ردیف قرارگرفته و جریان یکسانی از هر دو مقاومتها می‌گذرد. به همین علت نیز آنرا «اتصال سری» می‌نامند. در بیشتر وسایل اندازه‌گیری، ولتاژ کل U_g ، شدت جریان کل I_g و همچنین ولتاژهای $U_۱$ و $U_۲$ و شدت جریانهای $I_۱$ و $I_۲$ در هر دو مقاومتها خوانده می‌شود. در اینجا اندازه‌های زیر خوانده می‌شود:

$U_g = 12\ V$	$I_g = 0{,}8\ A$	
$U_1 = 4\ V$	$I_1 = 0{,}8\ A$	$R_1 = 5\Omega$
$U_2 = 8\ V$	$I_2 = 0{,}8\ A$	$R_2 = 10\ \Omega$

باتوجه به این ارقام به اصول زیر در مورد اتصال سری پی می‌بریم :

۱. جریان در مقاومتها به‌همان میزانی است که در جریان کل وجود دارد:

$$I_g = I_1 = I_2$$

۲. ولتاژ کل برابر با مجموع ولتاژهای تقسیم شده می‌باشد (قانون کیرشهف)

$$U_g = U_1 + U_2$$

۳. مقاومتی که جانشین هر دو مقاومتهای تقسیم شده می‌باشد، باتوجه به ولتاژ کل و جریان چنین محاسبه می‌گردد:

$$R_g = \frac{U_g}{I_g} = \frac{12V}{0.8A} = 15\ \Omega$$

در اینجا مجموع مقاومتهای تقسیم شده نشان داده می‌شود. بنابراین معتبر است:

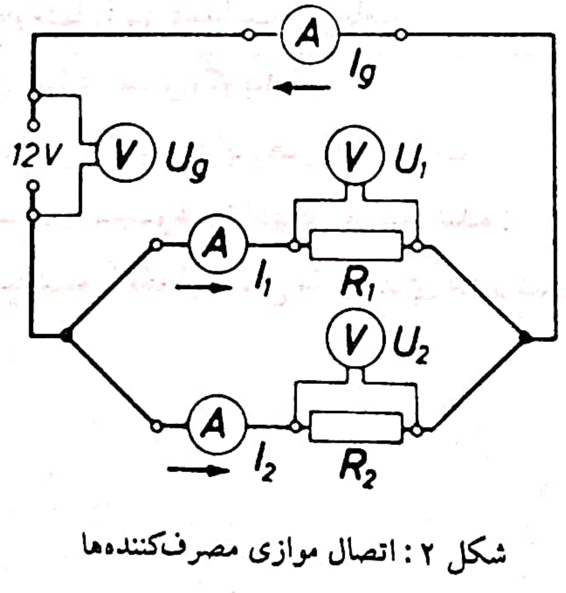
$$R_g = \frac{U_g}{I_g} = \frac{U_1 + U_2}{I_g} = \frac{U_1}{I_g} + \frac{U_2}{I_g} = \frac{U_1}{I_1} + \frac{U_2}{I_2} = R_1 + R_2$$

«در اینجا مقاومت کل برابر مجموع مقاومتهای تقسیم شده است».

۴. ولتاژها در قسمتهای مدار با مقدار اهمی مقاومتها متناسب می‌باشند:

$$U_1 : U_2 = R_1 : R_2$$

آزمایش ۲ : اتصال موازی (تصویر شمارهٔ ۲)



شکل ۲ : اتصال موازی مصرف‌کننده‌ها

اگر مدار را طوری ببندیم که جریان منشعب گردد و یک قسمت I_1 از مقاومت R_1 و قسمت دیگر I_2 از مقاومت R_2 عبور کند، در آن صورت می‌توان در وسایل اندازه‌گیری مقادیر زیر را خواند:

$U_g = 12\ V$ $I_g = 3{,}6\ A$

$U_1 = 12\ V$ $I_1 = 2{,}4\ A$ $R_1 = 5\Omega$

$U_2 = 12\ V$ $I_2 = 1{,}2\ A$ $R_2 = 10\ \Omega$

در نتیجه می‌توان در مورد اتصال موازی به اصول زیر پی‌ببریم :

۱. جریان کل مجموع جریانهای تقسیم شده است: (قانون کیرشهف)

$I_g = I_1 + I_2$

۲. ولتاژ کل به همان میزان ولتاژ در یکایک مقاومتها می‌باشد.

۳. مقاومت کل $R_g = \frac{U_g}{I_g} = \frac{12V}{3{,}6V} = 3{,}33\ \Omega$ کوچکتر از هر کدام از مقاومتهای تقسیم شده است.

به منظور محاسبه می‌توان فرمول زیر را نوشت :

$$\frac{I}{R_g} = \frac{I_g}{U_g} = \frac{I_1 + I_2}{U_g} = \frac{I_1}{U_g} + \frac{I_2}{U_g} = \frac{I_1}{U_1} + \frac{I_2}{U_2} \qquad \frac{1}{R_g} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

مقادیر معکوس مقاومتها را نیز «هدایت» می‌نامند. $G = \frac{1}{R}$

و واحد اندازه‌گیری آنرا «زیمنس» گویند. $1S = \frac{1}{\Omega}$

بنابراین قانون فوق را نیز می‌توان به‌این صورت نوشت :

«هدایت کل برابر است با مجموع هدایتهای تقسیم شده : $G_g = G_1 + G_2$

۴ . جریانهای تقسیم شده با مقدار اهمی مقاومتهای خود نسبت معکوس دارد:

$I_1 : I_2 = R_2 : R_1$

کدام اصول در مورد جریان، ولتاژ، مقاومت و هدایت در اتصال سری و موازی معتبر می‌باشد؟

در اتصال سری معتبر است :

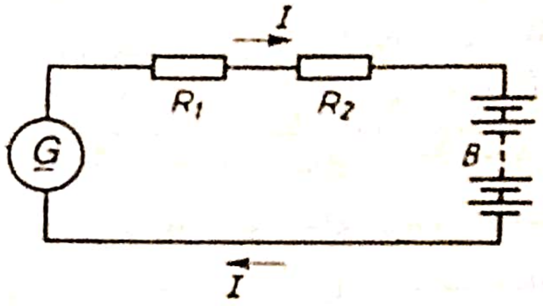
$I_g = I_1 = I_2$

____________	$U_g = U_1 + U_2$
____________	$R_g = R_1 + R_2$
____________	$U_1 : U_2 = R_1 : R_2$

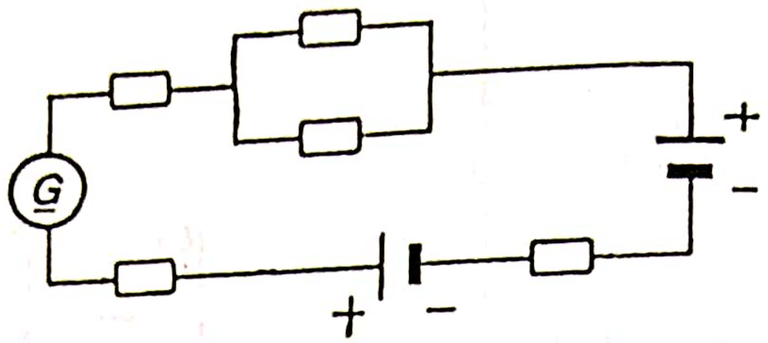
در اتصال موازی معتبر است :

____________	$I_g = I_1 + I_2$
____________	$U_g = U_1 = U_2$
____________	$R_g < R_1 . R_2$
____________	$G_g = G_1 + G_2$
____________	$I_1 : I_2 = R_2 : R_1$

شکل بالا تصویر یک مدار را نشان می‌دهد.
پیکانها نمایانگر جهت جریان و جهت الکترونها می‌باشند.
پیکان نقطه‌دار جهت جریان الکترونها را نشان می‌دهد که‌از ترمینال‌منفی منبع ولتاژبه‌طرف ترمینال مثبت منبع ولتاژ می‌باشد.



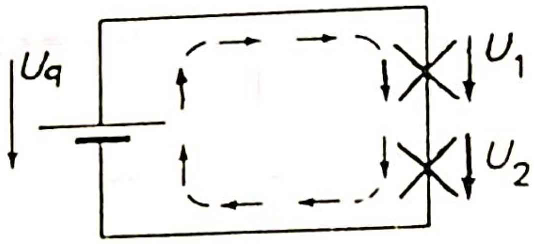
در شکل بالا تصویر مداری با منابع ولتاژ G و B دیده می‌شود.
اگر میزان ولتاژ در G بزرگتر از میزان ولتاژ در B باشد، در آن صورت جریان در جهت پیکانی می‌باشد که در زیر I نشان داده می‌شود.
اگر میزان ولتاژ در G کوچکتر از میزان ولتاژ در B باشد، در آن صورت جریان در جهت معکوس برقرار می‌شود.



در این مدار جهت جریان مشخص نیست.

اگر بخواهیم جریان I را محاسبه کنیم، باید جهت جریان انتخاب گردد.

جهت جریانی راکه به دلخواه انتخاب کردیم، جهت انتخابی جریان می‌نامند.



اگر این مدار بسته باشد، در آن صورت جریان از قطب مثبت منبع ولتاژ به طرف قطب منفی برقرار می‌گردد.

هر دوی این قطبها را «ترمینال» نیز می‌نامند.

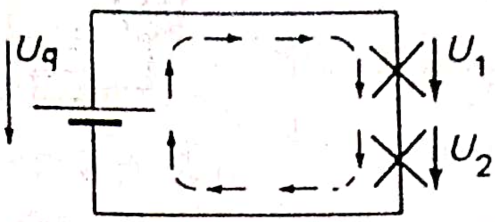
بنابراین یک منبع ولتاژ، یک ____ مثبت و یک ____ منفی را نشان می‌دهد.

ترمینال ـ ترمینال

در اینجا جریان از ترمینال ____ به‌طرف ترمینال ____ برقرار می‌شود.

مثبت ـ منفی

از آنجائیکه این منبع ولتاژ دارای دو قطب می‌باشد، آن را «منبع دو قطبی» نیز می‌نامند.



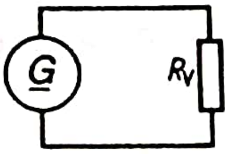
منبع دو قطبی

در ترمینال مثبت یک فقدان الکترون و در ترمینال منفی ازدیاد الکترون وجود دارد.

منبع دوقطبی

حال اگر یک مصرف‌کننده به یک بسته شود، در آن صورت می‌توانیم در مدار بسته از هادی و مصرف‌کننده جریان عبور دهیم.

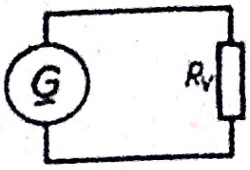
منابع دو قطبی به‌صورت آرایش هادی‌هائی با دو قطب یا با دو ترمینال می‌باشند. این آرایش هادی‌ها با دو قطب یا با دو ترمینال را به طول کلی «دو قطبی» می‌نامند.



این مدار شامل دو «دو قطبی» می‌باشد.

یکی از دو قطبی‌ها مولد جریان است. این مولد جریان که انرژی از دست می‌دهد، یک دو قطبی اکتیو نامیده می‌شود.

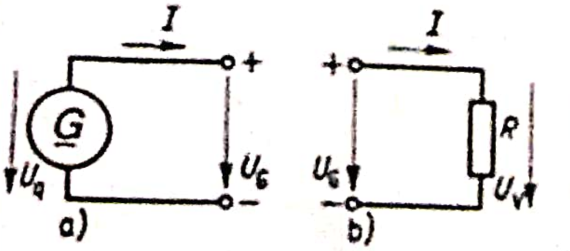
دو قطبی دیگر شامل مصرف‌کننده است که انرژی کسب می‌کند. این دو قطبی را یک دو قطبی پاسیو می‌نامند.



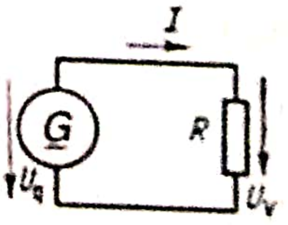
این مدار دارای یک دو قطبی و یک دو قطبی است.	اکتیو - پاسیو
دو قطبی از مولد جریان و دو قطبی از مقاومت تشکیل شده است.	اکتیو - پاسیو
دو قطبی‌هائی را که منابع ولتاژ نیستند و به عبارتی انرژی ذخیره نمی‌کنند، دو قطبی می‌نامند.	پاسیو

دو قطبی

اگر در مدار جریانی که تا به‌حال ملاحظه کرده‌اید، از خطوط اتصال با افت ولتاژ نسبتاً کم U_L (در مقایسه با U_G و U_V) صرف‌نظر کنیم، در آن صورت مدار جریان به طور کلی از دو قسمت متفاوت تشکیل می‌گردد: از مولد جریان که در تصویر سمت چپ نشان داده می‌شود و مصرف‌کننده که در تصویر سمت راست قرار دارد. در شکل شمارهٔ ۱ هر دو قسمتها به‌طور جداگانه نشان داده شده است. از آنجائیکه به‌طور مشترک هر دوی آنها دارای دو ترمینال یا دو قطب می‌باشند، چنین سیستمی را «دو قطبی» می‌نامند. هر دو تا دو قطبی‌هائی که در شکل یک دیده می‌شود، از این نظر با یکدیگر تفاوت دارند که جهت پیکانهای جریان I با ولتاژ V_q مخالف و با U_V هم‌جهت می‌باشند به طوریکه در مولد جریان G ، جریان از ترمینال بالائی خارج می‌شود در حالیکه در مقاومت R وارد می‌گردد.



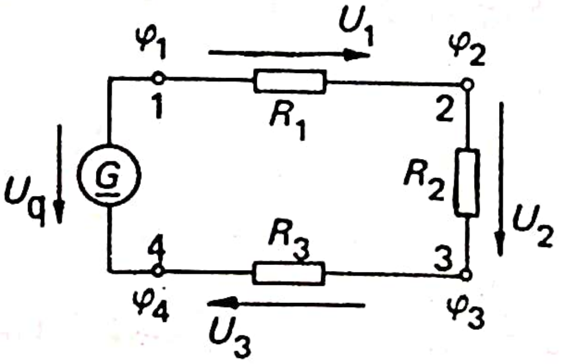
تصویر شمارهٔ ۱ : جهت‌های جریان I و ولتاژ U در دو قطبی اکتیو (a) و دو قطبی پاسیو (b)



تصویر شمارهٔ ۲:

مطابق تصویر a ۱ مولد جریان G انرژی از دست می‌دهد و به همین علت نیز چنین دوقطبی را «دو قطبی اکتیو» می‌نامند. برعکس باتوجه به تصویر b ۱ ، مقاومت R که انرژی کسب می‌کند، یک «دو قطبی پاسیو» نامیده می‌شود.

لطفاً جاهای خالی را باتوجه به متن «دوقطبی» پر کنید.	
اگر باتوجه به مدار جریان از صرف‌نظر کنیم، در آن صورت مدار از دو قسمت متفاوت تشکیل می‌گردد: و	خطوط اتصال مولد جریان ـ مصرف‌کننده
از آنجائی‌که به‌طور مشترک هردوی آنها دارای یا می‌باشند، چنین سیستمی را «دو قطبی» می‌نامند.	دو ترمینال ـ دو قطب
در حالی‌که در تصویر ۱ a جهت پیکان جریان I با ولتاژ U_q مخالف یکدیگرند، جهت پیکان جریان I و ولتاژ U_V در تصویر b هم‌جهت می‌باشند.	
جریان در G از ترمینال بالائی خارج می‌شود. به عبارتی انرژی از دست می‌دهد به همین جهت این دو قطبی را دو قطبی اکتیو می‌نامند.	مولد جریان
در R جریان به ترمینال بالائی وارد می‌گردد. به عبارتی انرژی کسب می‌کند. از این جهت مقاومتی را که دارای ۲ ترمینال یا دو قطب بوده و انرژی کسب می‌کند، دو قطبی پاسیو می‌نامند.	مقاومت



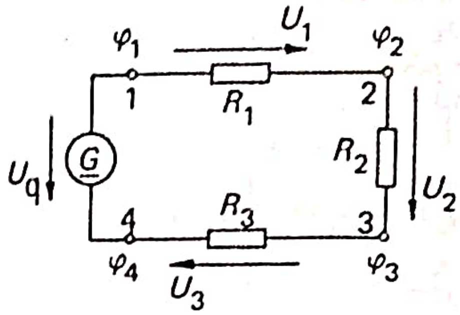
شکل بالا تصویر یک شبکه را نشان می‌دهد.

در این شبکه سه مقاومت R_1، R_2 و R_3 دارای اتصال سری هستند و در اینجا افت ولتاژ وجود دارد.

در بین هر یک از دو نقاط، میزان ولتاژها متفاوت می‌باشد.

به‌طور مثال در بین نقاط ۱ و ۲ وجود دارد. — ولتاژ U_1

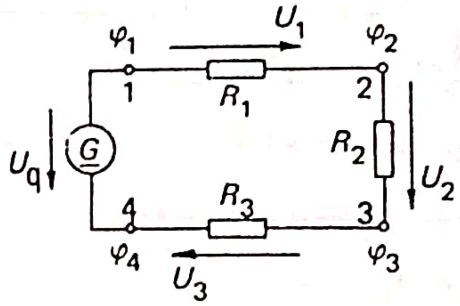
اگر بخواهیم ولتاژها را با هم مقایسه کنیم، در آن صورت به‌یک نقطه مبنا (مرجع) احتیاج داریم بنابراین در اینجا به‌طور کلی قطب منفی منبع ولتاژ را به عنوان نقطهٔ مبنا (مرجع) انتخاب می‌کنیم.



نقطهٔ مبنا

اگر بخواهیم در این مدار میزان ولتاژها را با هم مقایسه کنیم، در آن صورت باید قطب منفی منبع ولتاژ را به عنوان انتخاب کنیم و در این صورت آن را برابر صفر قرار دهیم.

در نتیجه هر نقطه در رابطه با قطب منفی دارای میزان ولتاژ معینی می‌گردد که این میزان ولتاژ را «پتانسیل» می‌نامند.



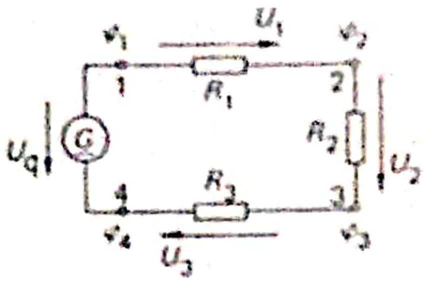
در این مدار جریان، ولتاژها را می‌توان با یکدیگر مقایسه کرد و به همین جهت نیز به نقطهٔ مرجعی احتیاج داریم که آن را برابر صفر قرار دهیم.

پتانسیل

در اینجا قطب منفی منبع ولتاژ به عنوان نقطهٔ مبنا (۴) انتخاب شده و سپس میزان ولتاژهای یکایک نقاط به عنوان

شناخته می‌شوند. اینها ولتاژهای یکایک نقاط در مقابل نقطهٔ مبنا می‌باشند.

به‌عبارتی ولتاژها در مدارهای جریان ساده و انشعابی همیشه دارای اختلاف پتانسیل هستند.



در تصویر بالا ______ φ_1 بر نقطهٔ ۱ منطبق شده است و در اینجا (۴) نقطهٔ مبنا می‌باشد که پتانسیل آن را برابر ______ قرار دادیم ($\varphi_4 = 0V$).

بنابراین می‌توان نوشت: $U_q = \varphi_1 - \varphi_4 = \varphi_1$

همچنین ولتاژ U_q نیز با φ_1 مطابقت می‌کند.

در مورد U_1 صدق می‌کند: $U_1 = \varphi_1 - \varphi_2$

در مورد ______ U_3 معتبر است: $U_3 =$ ______

به‌عبارتی $U_3 =$ ______

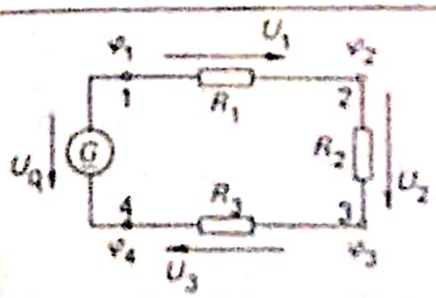
بنابراین در اینجا ولتاژها دارای ______ می‌باشند.

پتانسیل صفر

$\varphi_3 - \varphi_4$

φ_3

اختلاف پتانسیل

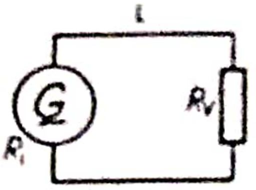


در اینجا ولتاژ بین نقاط ۲ و ۴ برابر است با:

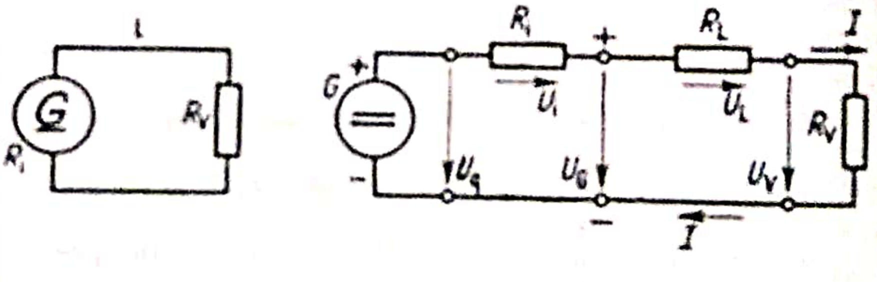
$$U_{24} = U_2 + U_3 + \varphi_2 - \varphi_3 + \varphi_3 - \varphi_4 = \varphi_2 - \varphi_4$$

از آنجائیکه در اینجا $\varphi_4 = 0$ است پس $\varphi_2 = U_{24}$ می‌شود.
بنابراین ولتاژها در مدارهای جریان ساده و انشعابی همیشه دارای   می‌باشند.

اختلاف‌پتانسیل



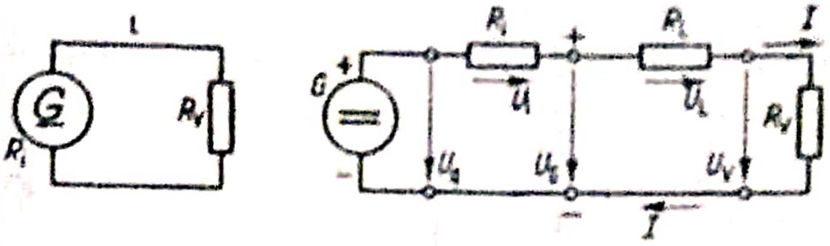
در مولد جریان G ولتاژ U_G وجود دارد که روی مدار جریان تأثیر می‌گذارد.
در مولد جریان هادی‌هائی وجود دارند که به‌عنوان مقاومتها عمل می‌کنند. به‌طور مثال سیم‌هائی که از آنها جریان عبور می‌کند. این مقاومتها را «مقاومت داخلی» می‌نامند.



در شکل سمت راست، مدار معادل مربوط به مدار سمت چپ دیده می‌شود.
R_i مولد جریان می‌باشد.
در اینجا خود مولد جریان بدون مقاومت نشان داده می‌شود.
R_L مقاومت هادی می‌باشد که آن را «بار مقاومتی» می‌نامند.
بار مقاومتی R_L از مقاومت خط رفت و برگشت به‌مصرف‌کننده تشکیل شده است.

مقاومت داخلی

در اینجا خط اتصال بین مولد جریان و مصرف‌کننده بدون مقاومت است.



مدار معادل

شکل سمت راست، مربوط به‌مدار جریان سمت چپ را نشان می‌دهد.

مقاومت داخلی

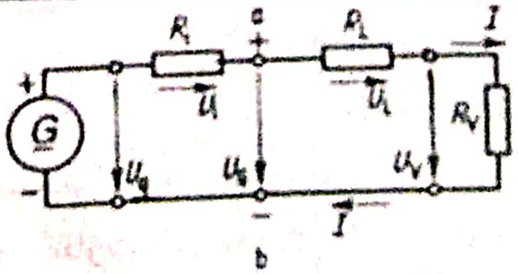
در مدار معادل، R_i مولد جریان به‌طور جداگانه تصویر شده است.

بدون مقاومت

در اینجا خود مولد‌جریان نشان‌داده می‌شود و خط اتصال بین مولد جریان و مصرف‌کننده نیز بدون مقاومت است.

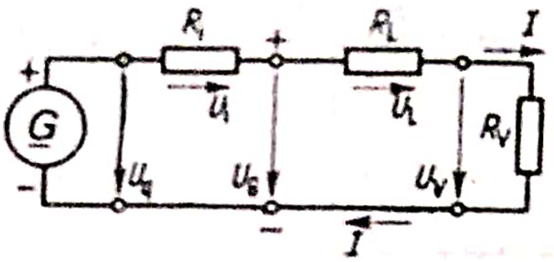
بار مقاومتی R_L از مقاومت خط رفت و برگشت به‌مصرف‌کننده تشکیل شده است.

در حالیکه R_i معمولاً در مدار معادل وجود دارد، اما R_L فقط در موارد خاص در مدار وارد می‌شود به‌طور مثال در مواردی که خطوط اتصال خیلی بلند باشد.



تصویر بالا مربوط به‌یک مدار جریان را نشان می‌دهد.

همانطورکه در تصویر مشاهده می‌کنید در ترمینالهای a و b ولتاژ U_G وجود دارد که آن را «ولتاژ ترمینال U_G» می‌نامند.
در اینجا می‌توان ولتاژ ترمینال U_G را با یک دستگاه اندازه‌گیری ولتاژ (ولتمتر) اندازه‌گیری کرد.

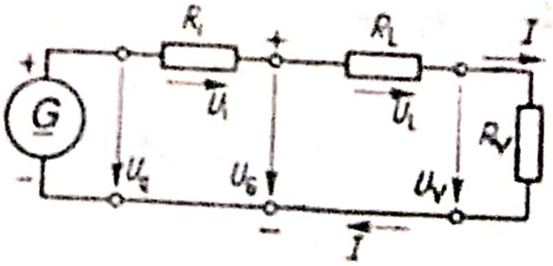


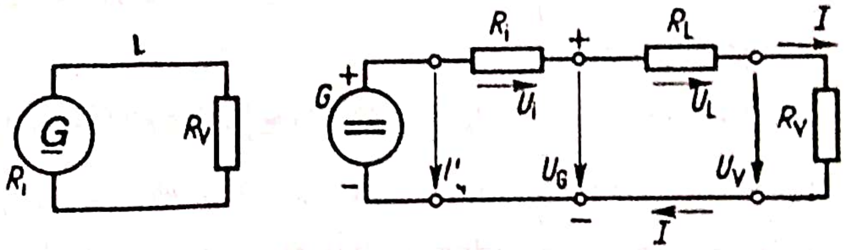
ولتاژ ترمینال

در ترمینالهای این منبع ولتاژ، U_G وجود دارد.

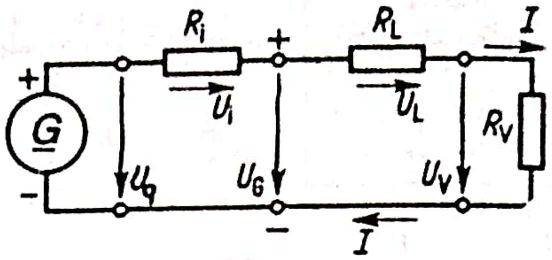
ولتاژ ترمینال

U_G را می‌توان با یک دستگاه اندازه‌گیری ولتاژ (ولتمتر) اندازه‌گیری کرد.
از آنجائیکه ولتاژ از طریق مقاومت داخلی در مولد جریان مصرف می‌شود، باید میزان ولتاژ در مولد جریان بیشتر باشد، تا در ترمینالها.
ولتاژی که در داخل منبع ولتاژ وجود دارد، «ولتاژ منبع U_q» نامیده می‌شود.
در منبع ولتاژ سعی می‌شود میزان ولتاژ منبع U_q ثابت بماند.

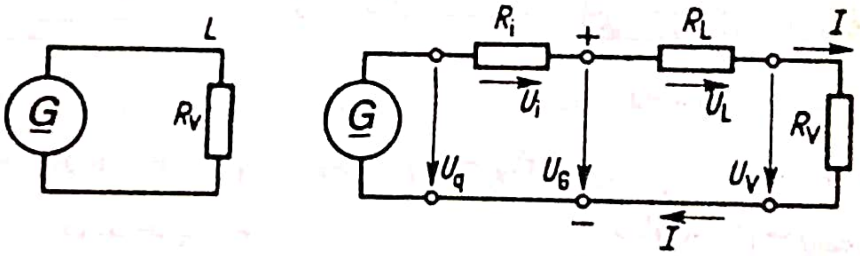


در مولد جریان G ، U_q وجود دارد. میزان U_q باید بیشتر از U_G باشد که در قسمت خارجی مدار جریان نیز اعمال می‌شود. ولتاژی که در مولد جریان مصرف می‌شود، ولتاژ داخلی U_i نامیده می‌شود.	ولتاژ منبع ولتاژ منبع ـ ولتاژ ترمینال
ولتاژ ترمینال U_G برابر اختلاف بین ولتاژ منبع U_q و U_i می‌باشد. بنابراین صدق می‌کند : $U_G = U_q - U_i$ در این صورت U_G ، U_q و U_i نامیده می‌شود. همچنین افت ولتاژی را که در هادی منبع ولتاژ وجود دارد، «افت ولتاژ داخلی» می‌نامند.	ولتاژ داخلی ولتاژ ترمینال ـ ولتاژ منبع ـ ولتاژ داخلی
 در تصویر سمت راست، مدار معال مربوط به مدار جریان سمت چپ دیده می‌شود. در طول مقاومت R_i U_i به‌وجود می‌آید. R_L مقاومت هر دو خطوط اتصال $(R_L/2 + R_L/2)$ و R_V مقاومت مصرف‌کننده هستند. افت ولتاژی را که در طول مقاومتهای R_L و R_V ایجاد می‌شود، افت ولتاژ کل خارجی U_g می‌نامند.	افت ولتاژ داخلی

در این صورت می‌توان نوشت : $U_G = U_g = U_L + U_V$



شکل بالا تصویر یک .... را نشان می‌دهد.	مدار معادل
U_q .... مولد جریان ، U_i .... و U_g	ولتاژ منبع ـ افت
	ولتاژ داخلی ـ افت
و U_G .... منبع ولتاژ نامیده می‌شوند.	ولتاژ کل خارجی ـ
همچنین U_V ولتاژ ترمینالهای خطوط اتصال در جائی قرار دارد که R_V مقاومت مصرف‌کننده متصل شده است.	ولتاژ ترمینال



در شکل سمت راست مدار معادل مربوط به مدار جریان سمت چپ دیده می‌شود.

این تصویر یک اتصال سری را نشان می‌دهد.

مقاومت کل R_g مدار جریان برابر است با مجموع یکایک مقاومتها. $R_g = \Sigma R$

بنابراین صدق می‌کند :

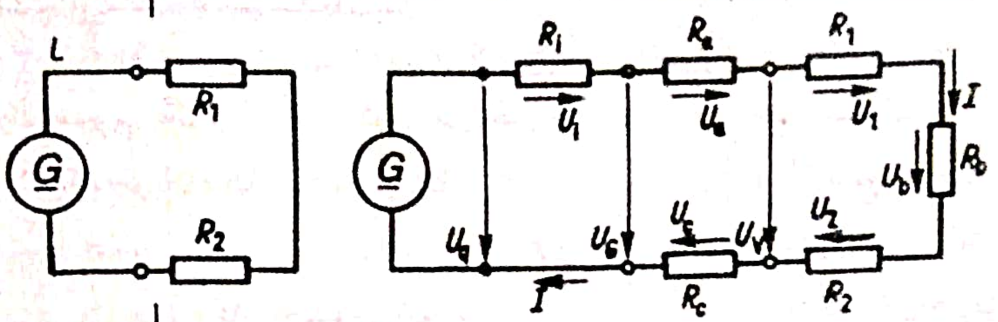
$R_g =$ ________ $+ R_L +$ ________ R_i / R_V

به‌منظور محاسبهٔ مدارهای جریان از مقاومت معادل استفاده می‌گردد.

مقاومت معادل با مقاومت کل R_g برابر است.

بنابراین .... در اتصال سری با مجموع یکایک مقاومتها برابر می‌باشد.

مقاومت معادل



تصویر سمت راست مدار معادل مربوط به مدار جریان سمت چپ را نشان می‌دهد.

دراینجادومصرف‌کنندهٔ R_1 و R_2 به‌طور .... بسته شده‌اند.

مقاومت معادل R_g مدار جریان بالا به‌عنوان مقاومت سری برابر با .... می‌باشد.

بنابراین معتبر است :

$$R_g = R_i + R_a + R_1 + R_b + R_2 + R_c$$

در این رابطه R_i .... مولد جریان است.

R_1 و R_2 مقاومتهای .... هستند

همچنین R_a، R_b و R_c مقاومتهای .... و R_g .... می‌باشد.

در اتصال سری .... برابر است با مجموع یکایک مقاومتها.

سری

مجموع یکایک مقاومتها

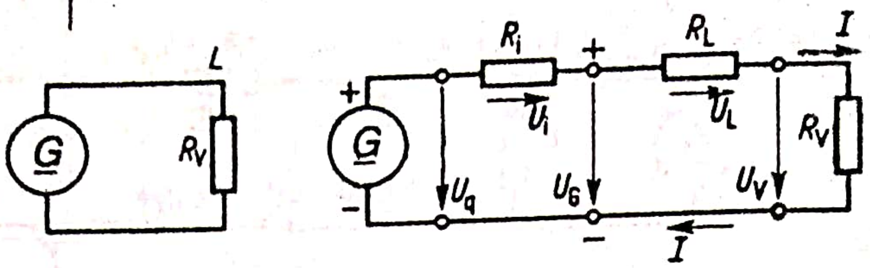
مقاومت داخلی

مصرف‌کننده

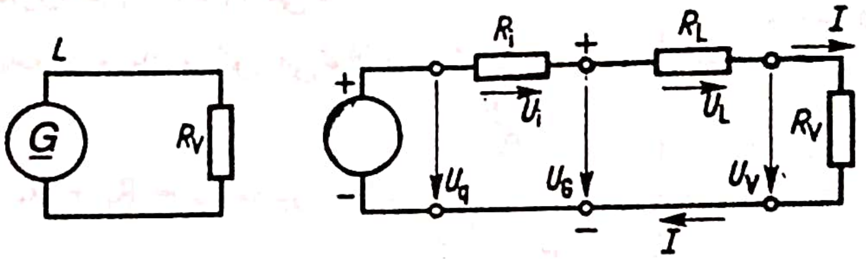
خطوط اتصال ـ

مقاومت معادل

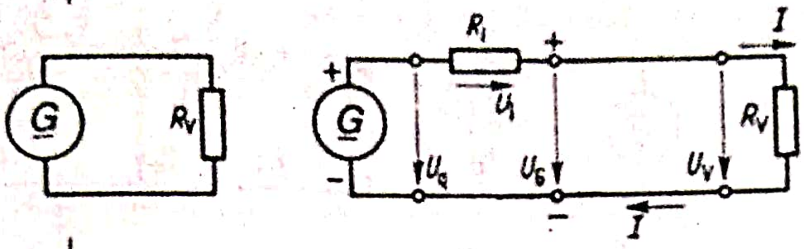
مقاومت معادل



داخلی ـ خارجی	اگر در این آرایش جریانی برقرار گردد، در آن‌صورت افت ولتاژ و ایجاد می‌شود. پس می‌توان گفت: منبع ولتاژ باردار شده است.



حالت بارداری	این منبع ولتاژ توسط یک مصرف‌کننده باردار شده است. در حالت بارداری میزان ولتاژ منبع U_q باید بزرگتر از ولتاژ ترمینال U_G باشد. بنابراین در حالت بارداری می‌توان نوشت: $U_q = U_G + U_i$ در خط اتصال مدار جریان، ولتاژ U_L را و مصرف‌کننده، ولتاژ U_V را مصرف می‌کند. میزان بار مقاومتی R_L در خطوط اتصال کوتاه قابل صرف‌نظر می‌باشد.



باردار

مجموع افت

ولتاژهای داخلی - خارجی

این منبع ولتاژ توسط یک مصرف‌کننده شده است.

در حالت بارداری باید ولتاژ منبع U_q برابر و باشد

در حالت بارداری جریان I عبور می‌کند.

بنابراین در رابطه با جریان مذکور می‌توان نوشت:

$$I = \frac{U_q}{R_g}$$

به‌علت رابطهٔ $R_g = R_i + R_v$ معتبر است:

$$I = \frac{U_q}{R_i + R_v}$$

حال اگر میزان R_v را به‌طور مستمر زیاد کنیم، در آن صورت میزان I به‌سمت صفر می‌رود.

پس می‌توان نوشت: $U_i = IR_i \rightarrow O$

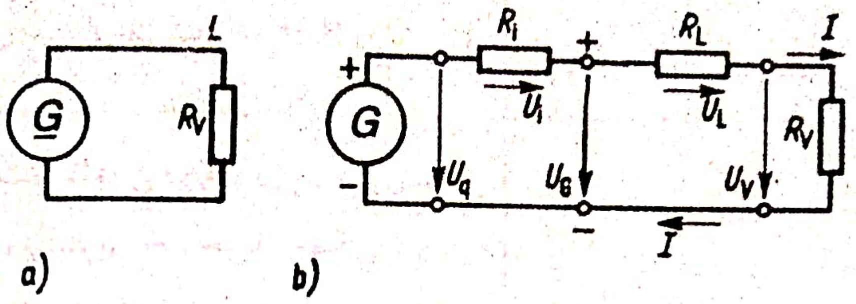
و در نتیجه $U_G \rightarrow U_q$

این وضعیت مولد جریان را «حالت بی‌باری» می‌نامند.

بنابراین می‌توان میزان U_q را در حالت «بی‌باری» اندازه‌گیری کرد زیرا در این حالت برابر U_G می‌باشد.

اگر از منبع جریان، جریانی عبور نکند، در آن

صورت نیز ایجاد نمی‌شود و مولد جریان در حالت قرار می‌گیرد. بنابراین در «حالت‌بی‌باری» صدق می‌کند: $R \to \infty$ و $I \to O$	افت ولتاژ داخلی - بی‌باری
اگر میزان R را به‌طور مستمر کاهش دهیم، در آن صورت در حالتی‌که $R \to O$ می‌رود، بیشترین حد جریان ممکن عبور می‌کند. این جریان را «جریان اتصال کوتاه «I_k» می‌نامند. از آنجائی‌که $R_v = O$ است، بنابراین در مورد جریان اتصال کوتاه I_k صدق می‌کند: $I_k = \frac{U_q}{R_i}$ بنابراین برابر با خارج قسمت ولتاژ منبع U_q به‌مقاومت داخلی R_i می‌باشد.	جریان اتصال‌کوتاه



شکل ۱ : مدار جریان (a) و مدار مقاومت معادل (b)

اندازهٔ ولتاژهای تقسیم‌شده و مقاومت کل

مجموع ولتاژهای تقسیم شده

در اینجا این سئوال مطرح می‌شود که چگونه می‌توان ولتاژهای تقسیم شدهٔ مربوط به یکایک قسمتهای مدار را در شکل ۱ مورد تحلیل قرار داد. در مورد مداری که تصویر آن در شکل بالا نشان داده می‌شود، رابطهٔ (۱)
را بیان می‌کند.

بطور کلی بنابر قانون اهم در موردرابطهٔ ۲ چنین می‌توا ن گفت که ولتاژ U روی مقاومت معین R جریانی را تولید می‌کند که میزان آن در یک اتصال سری مانند شکل ۱ در همه‌جا یکسان است. در نتیجه قانون اهم را می‌توان بصورت رابطهٔ زیر بیان کرد:

$$U = IR$$

از آنجائیکه اندازهٔ این ولتاژهای تقسیم شده در هر قسمت با مقدار اهمی مقاومتها متناسب است (در صورتی که جریان ثابت باشد)، به همین علت در مورد این ولتاژها (U = IR) نیز از رابطهٔ ولتاژ مقاومت استفاده می‌گردد.

به‌علت آنکه مجموع این ولتاژهای تقسیم شده در مدار با ولتاژ منبع U_q برابر است در نتیجه در مورد شکل ۱ باتوجه به رابطهٔ ۱ و ۲ معتبر است:

$$U_q = U_i + U_L + U_V = I(R_i + R_L + R_V)$$

در اینجا عبارت داخل پرانتز با مقاومت کل یا مقاومتهای سری کل مدار جریان برابر است.

$$R_g = R_i + R_L + R_V$$

همچنین این رابطه در مورد هر اتصال سری دیگر یا هر قسمت انتخابی یک مدار جریان غیرانشعابی معتبر می‌باشد.

سری ـ مجموع یکایک مقاومتها

بنابراین بطور کلی مقاومت کل R_g در اتصال برابر است با

$$R_g = \Sigma R$$

از آنجائیکه مقاومت کل R_g می‌تواند جانشین زنجیره‌ای از یکایک مقاومتها باشد، در نتیجه آنرا «مقاومت معادل» نیز می‌نامند.

حال اگر در رابطهٔ (۲) قانون اهم، مقاومت سری R_g را وارد کنیم، در آن صورت صدق می‌کند: $I = U_q/R_g$

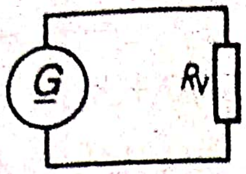
در اینجا R_g مقاومت کل تمام قسمتهای مدار است که در آن ولتاژ منبع U_q وجود دارد.

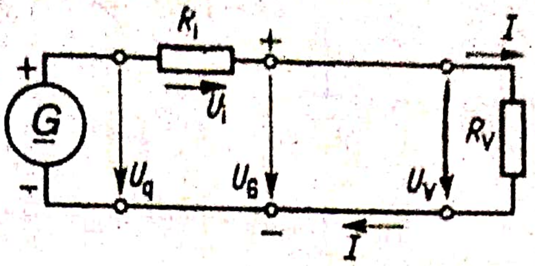
همچنین قانون اهم در مورد هر نوع ولتاژ روی هر تعداد دلخواه از مقاومتهای با مقاومت کل R و جریان I که از آن مقاومتها عبور می‌کند، معتبر است.

بنابراین صدق می‌کند: $I = U/\Sigma R$

رابطهٔ (۱) $U_q = U_i + U_L + U_V = U_i + U_G$

رابطهٔ (۲) $I = U/R$





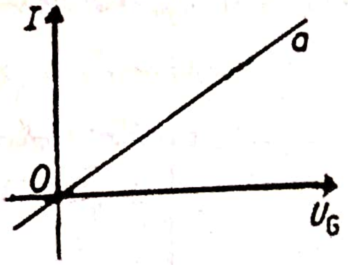
در این مدار یک دو قطبی اکتیو و یک دو قطبی پاسیو وجود دارد.

قانون اهم در مورد این دو قطبی پاسیو صدق می‌کند:

$$I = \frac{U_V + U_L}{R_V + R_L}$$

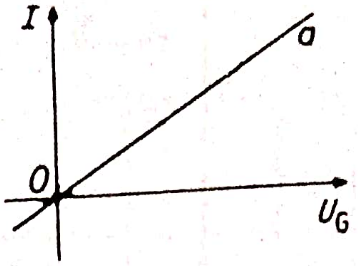
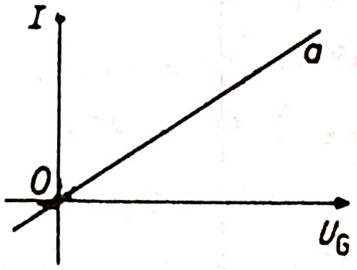
اگر $R_L = 0$ باشد، در آن‌صورت $U_L = 0$ و $U_G = U_V$ می‌شود و در نتیجه می‌توان نوشت:

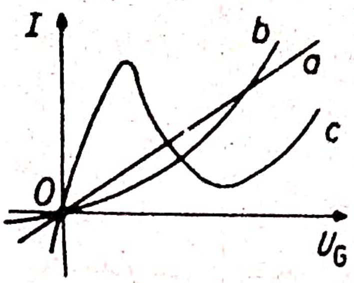
$$I = \frac{U_V}{R_V}$$



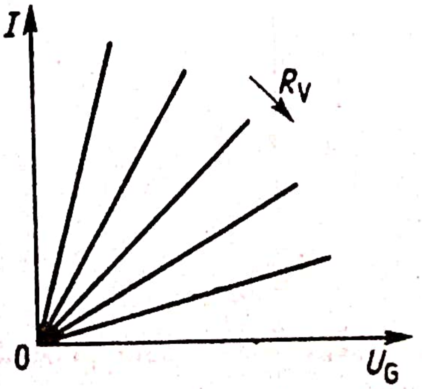
این منحنی وابستگی شدت جریان I به ولتاژ ترمینال U_G را برای مقاومت معین R_V در مدار جریان نشان می‌دهد.

این چنین منحنی را «منحنی مشخصهٔ مقاومت» می‌نامند.

 شکل بالا مربوط به‌تصویر یک مقاومت می‌باشد. منحنی مذکور وابستگی I را به U_G نشان می‌دهد. در اینجا خارج قسمت I به U_G ثابت است. این منحنی مشخصه دارای خط مستقیمی است که از مبدأ آغاز می‌گردد. مقاومتهائی را که ثابت بوده و بصورت خطوط مستقیمی روی منحنی‌های مشخصه نشان داده می‌شوند، «مقاومتهای خطی» می‌نامند.	منحنی مشخصه شدت جریان ـ ولتاژ ترمینال
 تصویر بالا یک مقاومت را نشان می‌دهد. این منحنی مشخصه از یک خط تشکیل شده است. به‌عبارت دیگر در اینجا مقاومت است. خط مذکور از آغاز می‌گردد و مقاومت ان ثابت می‌باشد. (با تغییر ولتاژ یا جریان تغییر نمی‌کند).	منحنی مشخصه مستقیم ثابت مبدأ

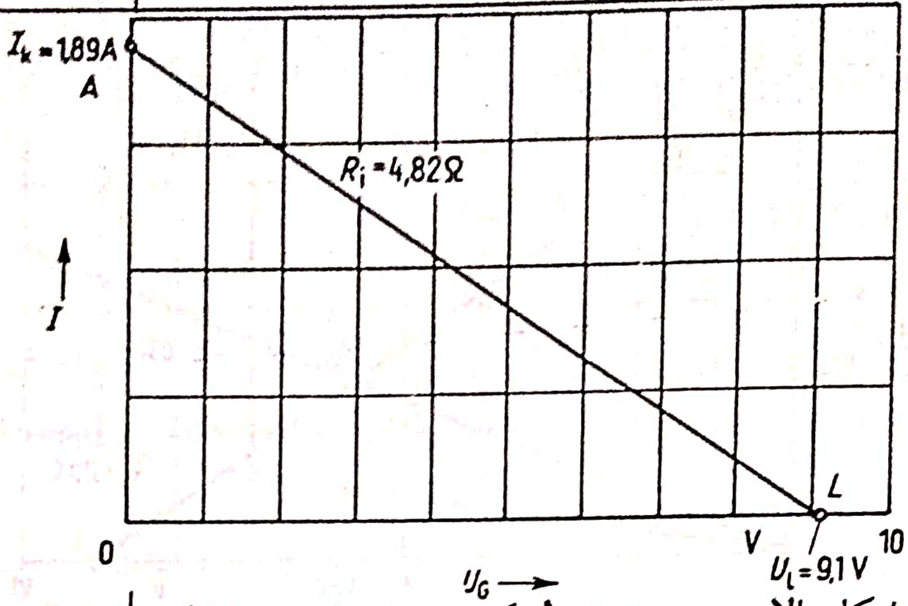


منحنی مشخصهٔ a، منحنی مشخصهٔ یک مقاومت ثابت را نشان می‌دهد.
اما منحنی مشخصهٔ b، منحنی مشخصهٔ یک مقاومت غیرثابت را نشان می‌دهد.
منحنی مشخصهٔ c، نیز منحنی مشخصهٔ یک مقاومت غیرثابت را نشان می‌دهد.
تغییر مربوط به یک مقاومت متغیر به‌حرارت و ماده نیز می‌تواند وابستگی داشته باشد.



شکل بالا تصویر منحنی‌های مشخصه مربوط به مقاومتهای مصرف‌کننده ثابت مختلفی را نشان می‌دهد.
اگر میزان مقاومتها بالا و صعودی و یا پایین باشند، در هر صورت منحنی‌های مشخصهٔ مقاومتهای مصرف‌کننده ثابت، خط سیرصافی خواهند داشت.

مقاومت مصرف‌کننده	به عبارت دیگر صعود منحنی مشخصه به میزان وابستگی دارد.



در شکل بالا منحنی مشخصهٔ یک منبع با مقاومت داخلی ثابت را نشان می‌دهد.

اگر $I = O$ شود و R_V به سمت بی‌نهایت برود، در آن صورت ولتاژ ترمینال U_G به میزان ماکزیمم می‌رسد.

پس معتبر است: $U_G \rightarrow U_0 = U_q$

U_0 علامت «اُفت پتانسیل بی‌باری» است.

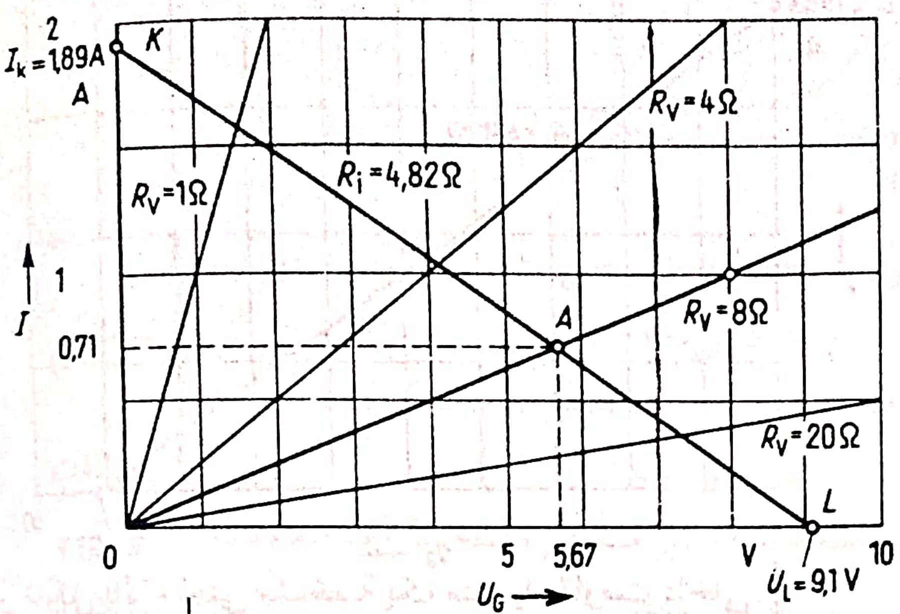
برعکس اگر $U_G = O$ شود و R_V به‌سمت صفر میل کند، در آن صورت شدت جریان I به میزان ماکزیمم می‌رسد. به عبارتی ماکزیمم جریان از ترمینالها عبور می‌کند که این حالت را «جریان اتصال کوتاه» می‌نامند و علامت آن با I_k مشخص می‌شود.

منبع ـ مقاومت داخلی ثابت

به‌طور کلی منحنی مشخصهٔ با در مورد کل حوزهٔ عملکرد بین اتصال کوتاه و بی‌باری منبع معتبر است.

در صورتی‌که ولتاژ ترمینال بین صفر و ۹/۱V باشد، شدت

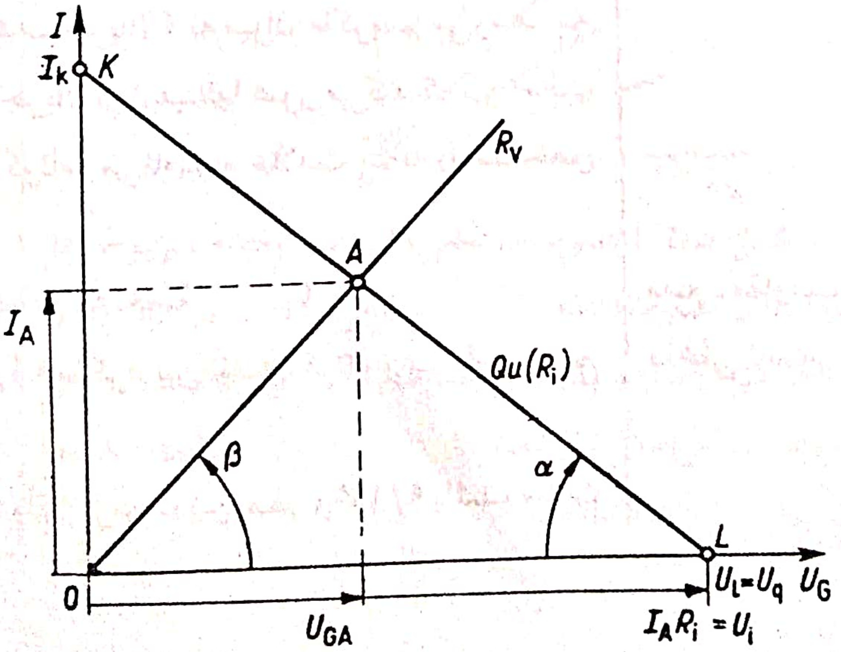
جریانهای مربوط روی منحنی مشخصه قرار می‌گیرد.



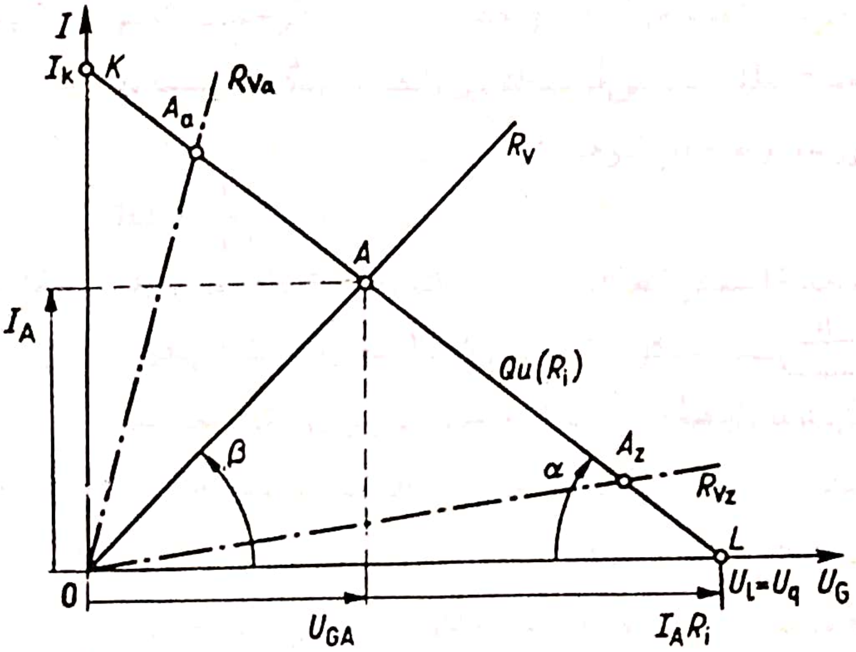
در اینجا تصویر یک میدان منحنی مشخصه $I = f(U_G)$ دیده می‌شود.

میدان منحنی مشخصه

این ، شامل منحنی مشخصه یک منبع با مقاومت داخلی ثابت $R_i = 4{,}82\Omega$ و منحنی‌های مشخصهٔ چهار مقاومت مصرف‌کننده است.



میدان منحنی مشخصه مقاومت داخلی ثابت	شکل بالا مربوط به تصویر یک است. میدان مذکور منحنی مشخصهٔ یک مولد جریان با و منحنی مشخصهٔ یک مقاومت مصرف‌کننده را نشان می‌دهد. منحنی مشخصهٔ مقاومت مصرف‌کنندهٔ R_V، منحنی مشخصهٔ مولد جریان با مقاومت داخلی ثابت را در نقطهٔ A قطع می‌کند. نقطهٔ A را «نقطهٔ کار» می‌نامند.
ولتاژ ترمینال - شدت جریان	نقطهٔ کار از U_{GA} و I_A تشکیل می‌گردد. حاصلضرب U_{GA} و I_A برابر توان مصرف شده در مقاومت است.



نقطهٔ کار	اگر مقاومت مصرف‌کننده را بطور مثال تا R_{Vz} افزایش دهیم، در آن صورت در جهت بی‌باری بطرف A_z تغییر مکان می‌دهد و چنانچه مقاومت مصرف‌کننده را به‌طور
نقطهٔ کار	مثال تا R_{Va} کاهش دهیم، در آن صورت در جهت اتصال کوتاه به سمت A_a تغییر مکان می‌دهد.

با ترسیم میدان منحنی مشخصه می‌توان را تعیین کرد که این به‌خصوص در منحنی‌های مشخصهٔ غیرثابت حائز اهمیت می‌باشد.	نقطهٔ کار

مقاومت، قانون اهم

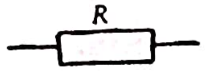
$$I = \frac{U}{R}$$

$$R = \frac{U}{I}$$

رابطهٔ بالا یک رابطهٔ توصیفی برای مقاومت الکتریکی می‌باشد که به‌طور کلی آن را «قانون اهم» می‌نامند. این رابطه بیانگر آن است که میزان (شدت جریان) با ازدیاد ولتاژ افزایش می‌یابد و در صورتی که میزان مقاومت بیشتر شود، از میزان شدت جریان کاسته می‌گردد. واحد (مقاومت) برحسب اهم (یک اهم = 1Ω) بیان می‌گردد که در رابطه با دیگر واحدها به این صورت نوشته می‌شود.

$$1\Omega = \frac{1V}{1A}$$

شکل شمارهٔ اسمبل اتصال (مقاومت) الکتریکی را نشان می‌دهد.



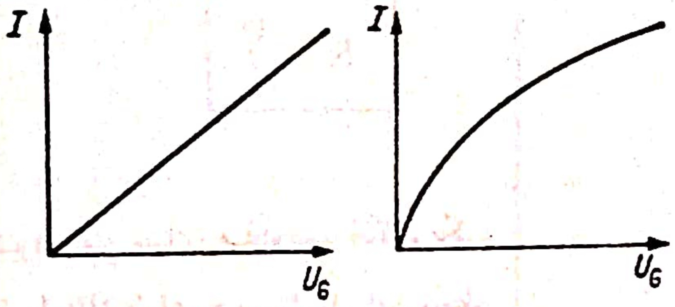
شکل ۱ : سمبل اتصال مقاومت الکتریکی

در اینجا رابطهٔ بین ولتاژ و جریان برای یک مقاومت به‌صورت (منحنی مشخصه) ولتاژ ـ جریان آن مقاومت به طور گرافیک نشان داده می‌شود.

البته در بسیاری از موارد میزان مقاومت غیروابسته به میزان جریان و ولتاژ است.

از آنجائی‌که منحنی‌های مشخصهٔ ولتاژ ـ جریان به صورت خطوط (مستقیم) ترسیم می‌شوند (تصویر ۲a)، این مقاومتها را «مقاومتهای خطی» می‌نامند. اما اگر برعکس میزان مقاومت به جریان و ولتاژ بستگی داشته باشد، در آن صورت چنین

منحنی‌های مشخصه	مقاومتهای غیرخطی را به‌صورت ولتـاژ-جریان غیرخطی نشان می‌دهند (تصویر ۲b).



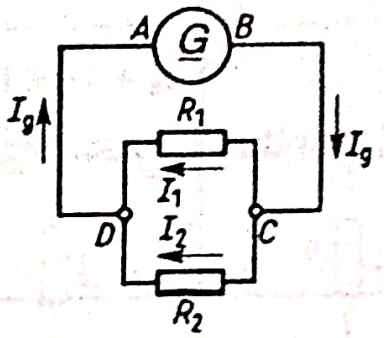
شکل ۲: منحنی‌های مشخصهٔ ولتاژ-جریان

a) ....

b) ....

مقاومت خطی

مقاومت غیرخطی



شکل بالا تصویر مدار جریانی را نشان می‌دهد که به آن دو مقاومت به طور موازی بسته شده است.

این اتصال در نقطهٔ C به   شاخه منشعب می‌گردد.   دو

در اینجا C نقطهٔ انشعاب می‌باشد.

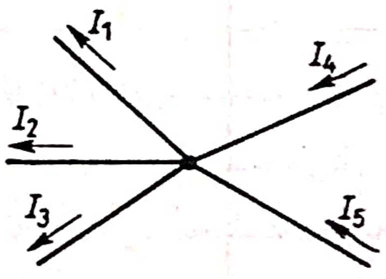
شاخه‌ها دوباره در نقطهٔ D به‌یکدیگر متصل می‌شوند.

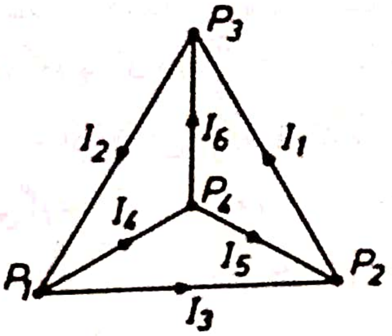
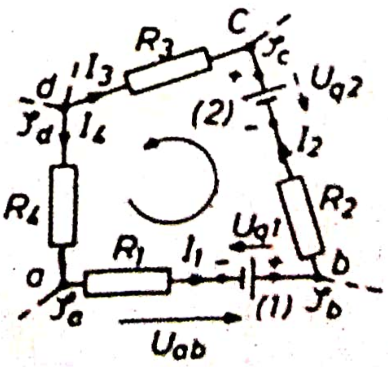
نقطهٔ اتصال می‌باشد.   D

نقاط D و C را «نقاط اتصال گره‌ای» می‌نامند.

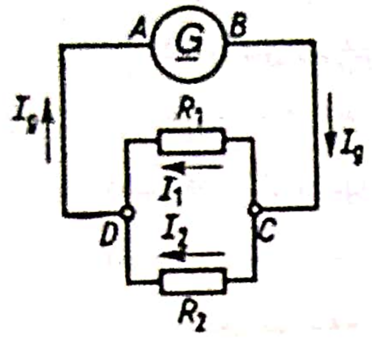
بنابراین   در واقع همان نقاط انشعاب و نقاط اتصال در مدارهای جریان هستند.   نقاط اتصال‌گره‌ای

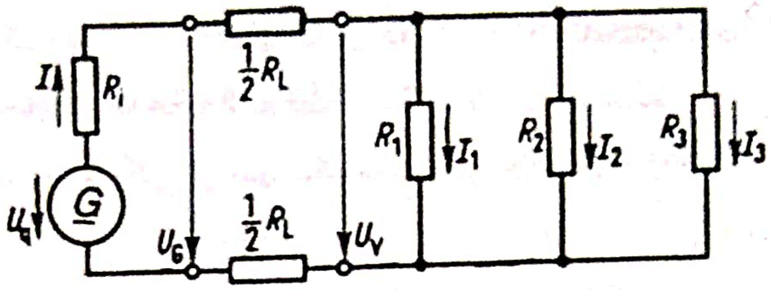
در یک   حداقل سه خط اتصال با یکدیگر تلاقی می‌کنند.   نقطهٔ اتصال‌گره‌ای



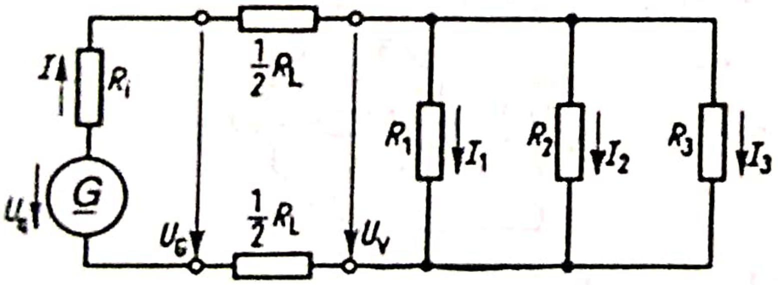
شکل بالا تصویر یک را نشان می‌دهد که در آن پنج خط اتصال با یکدیگر تلاقی کرده‌اند. بنابراین صدق می‌کند: $I_4 + I_5 = I_1 + I_2 + I_3$ در یک مجموع جریانهای ورودیْ برابر مجموع جریانهای خروجی از آن نقطه هستند.	نقطهٔ اتصال‌گره‌ای نقطهٔ اتصال‌گره‌ای
 این شکل یک مدار است. ایـن مـدار دارای شش اتـصال، و چـهار شـبـکه می‌باشد. در هر دو نقطهٔ این صدق می‌کند که مجموع جریانها برابر صفر باشد.	چهارگره مدار
 این شبکه بخشی از یک مدار را تشکیل می‌دهد.	

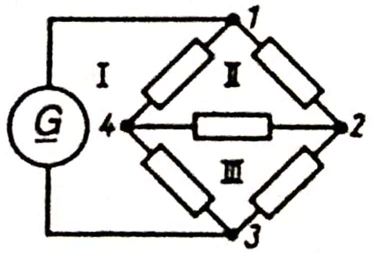
مجموع ولتاژهای داخل هر شبکه یک مدار برابر صفر است. هر شبکه یک مدار، یک اتصال را نشان می‌دهد.	سری



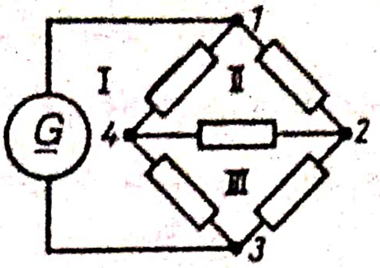
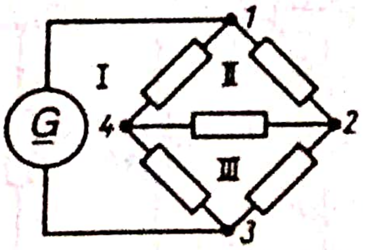


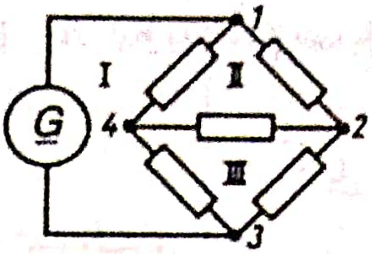
در اینجا تصویر دو مدار دیده می‌شود. در یک مدار بیشتر از یک شبکه وجود دارد. مدار سمت چپ یک اتصال را نشان می‌دهد و مدار سمت راست مربوط به یک مدار سری ـ موازی (مدار مختلط) می‌باشد.	موازی





در اینجا دو مدار مختلف نشان داده می‌شود. مدار سمت چپ یک مدار سری ـ موازی را نشان می‌دهد. مدار سمت راست نیز یک مدار مختلط را نشان می‌دهد. در این مدار مختلط میزان ولتاژها و جریانها در هیچیک از دو اِلمانها یکی نیست. مدارهای مختلط حداقل دارای ۵ اِلمان هستند.	

 شکل بالا تصویر یک مدار .... را نشان می‌دهد.	مختلط
این مدار .... از تعدادی شاخه با ۶ دو قطبی تشکیل شده است‌که پنج‌تای‌آنهامقاومت و یکی از آنها یک منبع جریان است.	مختلط
یکایک شاخه‌ها به وسیلهٔ .... به یکدیگر متصل شده‌اند.	۴ گره
این شاخه‌ها می‌توانند تعدادی اتصال سری را تشکیل دهند. به‌طور مثال روی نقاط اتصال گره‌ای ۱ و ۲ و ۴ و ۱ یا ۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۱ یا ۱ و ۲ و ۳ و ۱ یا ۱ و ۴ و ۳ و ۱.	
 اتصال سری در این مدار .... روی نقاط اتصال گره‌ای ۱ و ۲ و ۴ و ۱ یک شبکه را تشکیل می‌دهد. در این تصویر سه شبکه با علامات I ، II ، III مشخص شده است. در اینجا نقاط ۲ و ۴ بصورت پُل می‌باشد و به همین علت نیز چنین مداری را «مدار پل» می‌نامند.	مختلط

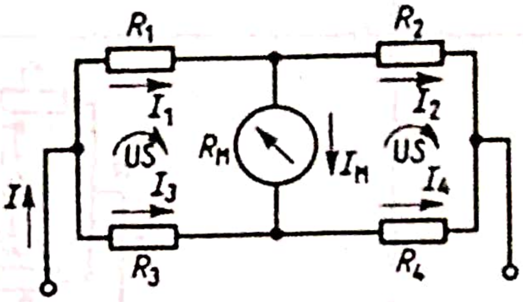


شکل بالاتصویر یک   را نشان می‌دهد.

از نوع مدارهای مختلط هستند و در این مدارها ۲ نقطه دارای اتصال پل است.

مدار پل

مدار های پل

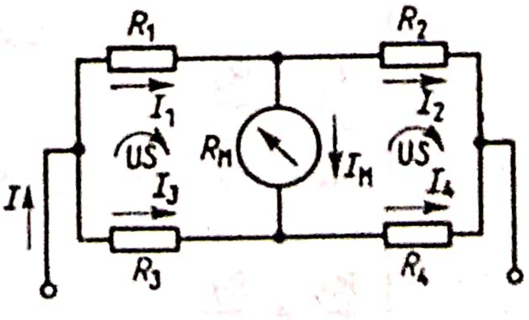


شکل بالا تصویر یک «پل و تستون» را نشان می‌دهد.

این «پل و تستون» شامل پنج مقاومت و دو ترمینال می‌باشد که روی آنها «ولتاژ کار» یا «ولتاژ مجاز» اعمال می‌شود.

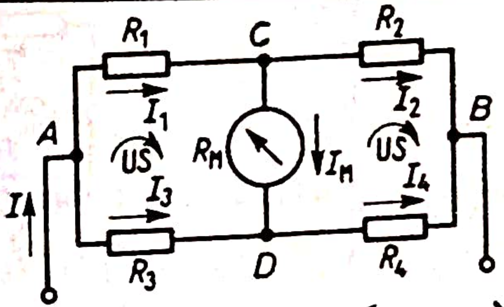
جریان I_M را که از مقاومت R_M یک دستگاه اندازه‌گیری عبور می‌کند، «جریان پل» می‌نامند.

R_1 ، R_2 ، R_3 ، R_4 نیز «مقاومتهای پل» نامیده می‌شوند.



این شکل مربوط به تصویر یک «پل و کستون» می‌باشد.

مقاومت پل	این «پل و تستون» از ۴ R_1 ، R_2 ، R_3 ، R_4 و مقاومت R_M دستگاه اندازگیری تشکیل شده است.
جریان پل	جریان I_M است. دستگاه اندازه‌گیری میزان «جریان پل» I_M را اندازه‌گیری می‌کند. اگر جریان پل I_M برابر صفر باشد، در آن صورت می‌توان گفت: «پل در وضعیت تعادل قرار دارد».



پل و تستون	شکل بالا تصویر یک مدار را نشان می‌دهد.
	اگر دستگاه اندازه‌گیری با مقاومت R_M جریانی را نشان ندهد، در آن صورت $I_M = O$ است. به عبارتی می‌توان گفت:
وضعیت تعادل	پل در قرار دارد.

اگر پل در حالت تعادل باشد، در آن صورت نقاط C و D دارای پتانسیل یکسانی خواهند بود.

در صورتی که پل در حالت تعادل باشد $(I_M = O)$ ، در مورد مقاومتها رابطهٔ زیر صدق می‌کند:

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$$

در مورد پلهائی که در وضعیت تعامل قرار دارند $(I_M = O)$ همچنین می‌توا ن نتیجه‌گیری کرد:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

اگر یکی از مقاومتها مجهول باشد، در آن صورت می‌توان

از «پل و تستون» به‌منظور اندازه‌گیری آن مقاومت استفاده کرد.

مدارهای پل

مدارهای پل به‌صورت آرایشهای مختلف در تمام زمینه‌های رشتهٔ الکتروتکنیک دیده می‌شود. به‌طور مثال آرایش یک پل ساده «پل و تستون» است که در شکل یک نشان داده می‌شود. در صورت فقدان جریان در شاخهٔ CD ، نقاط C و D دارای پتانسیل یکسانی می‌شوند.

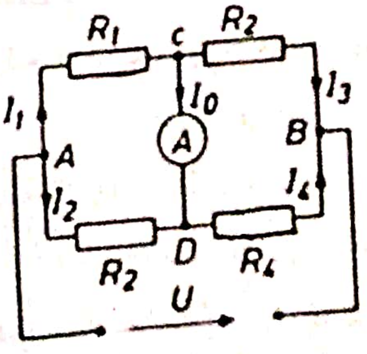
بنابراین می‌توان نوشت:

$I_1 =$ ________ I_3

$I_2 =$ ________ I_4

یا

$I_1R_1 = I_2R_2$ و $I_1R_3 = I_2R_4$



شکل ۱:

پل و تستون

در نتیجه شرط تعادل در این پل به‌صورت زیر می‌باشد.

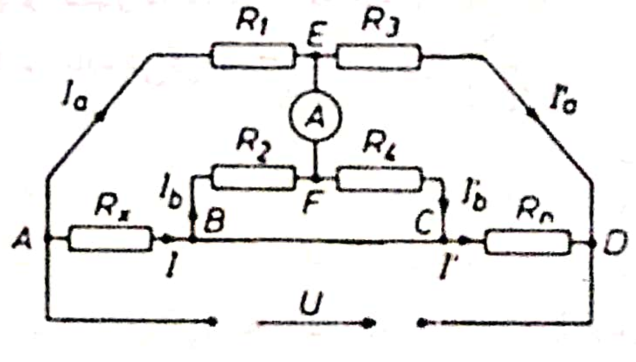
$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$ یا $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$

اگر $R_1 = R_x$ یک مقاومت مجهول و مثلاً $R_3 = R_n$ یک

مقاومت نرمال معلوم باشد، در آن صورت می‌توان از پل وتستون به منظور اندازه‌گیری مقاومت مجهول R_x از طریق مقایسه با R_n استفاده کرد.

به‌منظور اندازه‌گیری مقاومتهای خیلی کوچکتر (مقاومتهای بسیار کم) دیگر اتصال پل و تستون بدین منظور مناسب نمی‌باشد. در چنین مواردی اتصال پل مربوط به تصویر شمارهٔ ۲ مورد استفاده قرار می‌گیرد که پل تامسون یا پل کلوین یا پل دوبل نامیده می‌شود.

بنابراین R_x را مقاومت مجهول و R_n را مقاومت معلوم (مقاومت نرمال) می‌نامند.



تصویر شمارهٔ ۲ : پل تامسون

و به علت اینکه : $IR_x = I_aR_1 - I_bR_2 = R_1\ (I_a - I_bR_2/R_1)$

$IR_n = I_aR_3 - I_bR_4 = R_3\ (I_a - I_bR_4/R_3)$.

بنابراین در صورت فقدان جریان در شاخهٔ EF می‌توان نوشت:

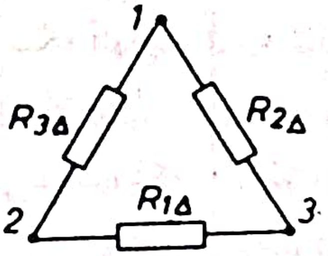
$I_a = I'_a$ و $I_b = I'_b$ و $I = I'$

اگر نسبت $R_2/R_1 = R_4/R_3$ شود، در آن صورت شرط

فقدان جریان در شاخهٔ EF به‌صورت $R_x/R_n = R_1/R_3 = R_2/R_4$ بیان می‌گردد و این در صورتی است که $R_1 = R_2$ و $R_3 = R_4$ شود.

در نتیجه می‌توان نوشت: $R_x = R_n R_1/R_3 = R_n R_2/R_4$

R_x و R_n که بین نقاط انشعاب B ـ A و D ـ C اندازه‌گیری می‌شوند، می‌توانند روی ترمینالهای مقاومت قرار بگیرند و در نتیجه مقاومتهای سیم به طور جداگانه با مقاومتهای شاخه‌های ترمینالهای مقاومت قرار بگیرند و در نتیجه مقاومتهای سیم به طور جداگانه با مقاومتهای شاخه‌های AED و BFD جمع می‌گردد که البته می‌توان از آنها صرف‌نظر کرد به شرطی که این مقاومتهای پل به اندازهٔ کافی بزرگ انتخاب شوند. ($1\Omega <$). به وسیلهٔ پل تامسون می‌توان مقاومتهای حداقل تا چند $\mu\Omega$ را اندازه‌گیری کرد. (در مقاومتهای بسیار کوچک از واحدهائی مثل میکرواهم $\mu\Omega = 10^{-6}\Omega$ استفاده می‌گردد).

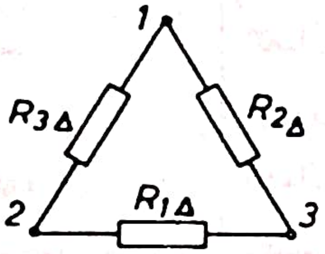


در شکل بالا تصویر یک شبکه دیده می‌شود.

این شبکه، شکل یک مثلث را نشان می‌دهد که دارای ______ و سه مقاومت در شاخه‌ها می‌باشد.

چنین مداری را مدار با «اتصال مثلث» می‌نامند.

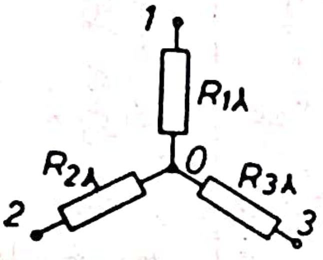
سه نقطهٔ اتصال
گره‌ای



تصویر بالا مداری را با «اتصال مثلث» نشان می‌دهد.

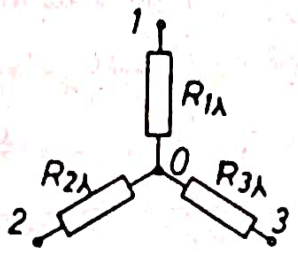
این ______ دارای سه مقاومت در شاخه‌ها می‌باشد که توسط سه گره به یکدیگر مربوط می‌گردند. این مقاومتها به‌صورت مثلث بسته شده‌اند.

اتصال مثلث

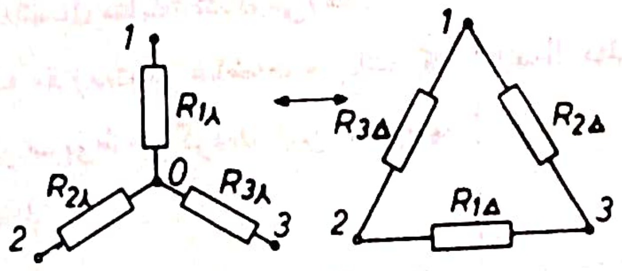


آیا این مقاومتها به صورت مثلث بسته شده‌اند؟ بلی یا

خیر	خیر؟ این مقاومتها به صورت مثلث بسته نشده‌اند. بلکه آنها به صورت ستاره بسته‌شده‌اند. بنابراین در شکل بالا مدار دارای نمی‌باشد بلکه «اتصال ستاره» را نشان می‌دهد.
اتصال مثلث	



اتصال ستاره	این شکل تصویر یک را نشان می‌دهد. این مقاومتها به‌صورت ستاره بسته شده‌اند.
اتصال ستاره	در یک چهار نقطهٔ اتصال گره‌ای وجود دارد.

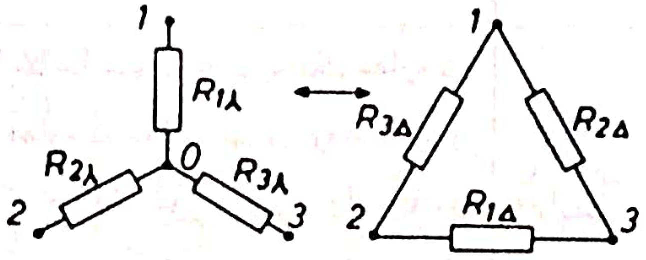


در مدار سمت چپ، مقاومتها به صورت ستاره و در مدار سمت راست به صورت مثلث بسته‌شده‌اند.

اتصال مثلث - اتصال ستاره	در یک سه گره و در یک چهار گره موجود می‌باشد.

کلیهٔ گره‌ها در این حالت به عنوان ترمینالهای خروجی محسوب می‌گردند.

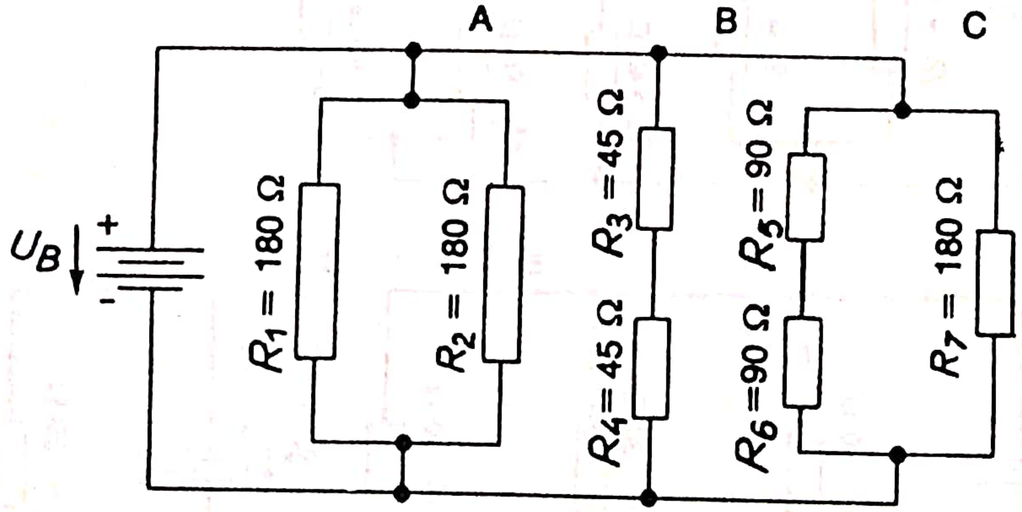
می‌توان اتصال مثلث را به اتصال ستاره و یا اتصال ستاره را به اتصال مثلث تبدیل کرد.
شرط این تبدیل این است که مقاومتهای بین هر یک از دو نقاط اتصال باهم برابر باشند.
این حابت را «تبدیل اتصال» گویند.



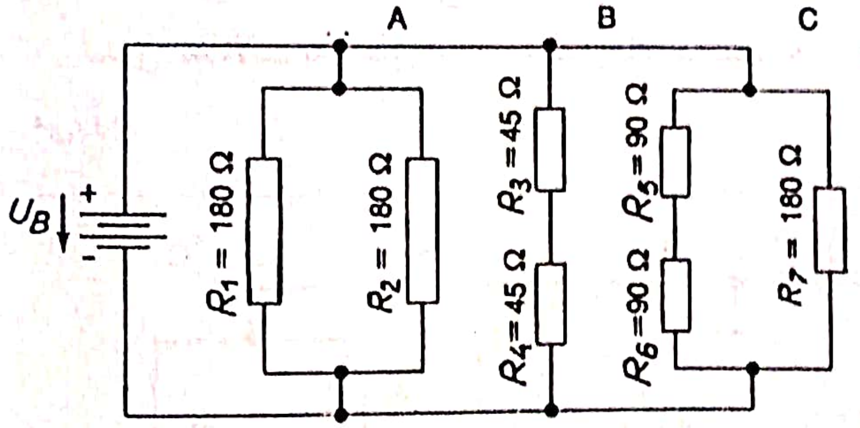
تبدیل اتصال مثل به اتصال ستاره و یا اتصال ستاره به اتصال مثلث را می‌نامند.

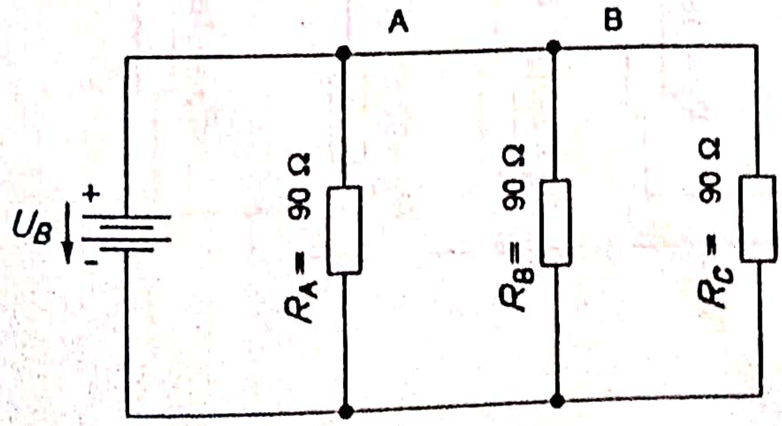
تبدیل اتصال

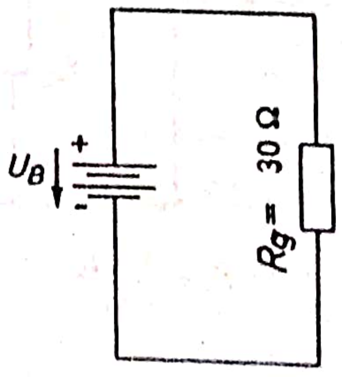
تبدیل اتصالات به منظور محاسبهٔ مدارهای مختلط بکار می‌رود.



مدار سری ـ موازی	شکل بالا تصویر یک را نشان می‌دهد. این مدار از سه گروه A ، B و C تشکیل شده است. یک گروه در صورتی تشکیل می‌گردد که حداقل در دو إلمان، میزان جریان یا ولتاژ با هم برابر باشند. در گروه A میزان ولتاژها به علت وجود اتصال موازی با هم برابر است. در گروه B میزان جریانها به علت وجود اتصال سری با هم برابر است. در گروه C باید در ابتدا شاخهٔ سمت چپ به یک مقاومت معادل ساده شود و سپس مقاومت معادل سری $R_{5,6}$ به طور
موازی	با R_7 قرار گیرد که در آن صورت میزان ولتاژها در گروه C با هم برابر می‌شوند.



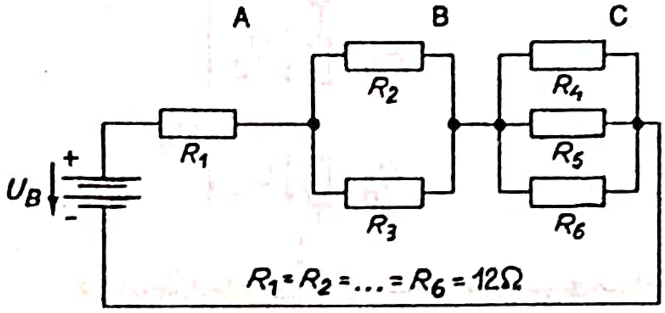


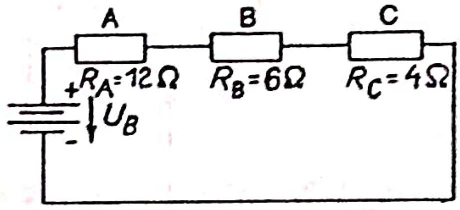


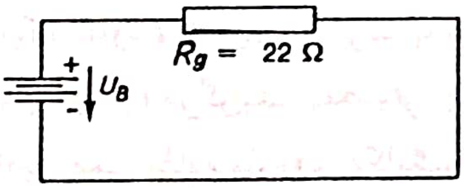
محاسبهٔ یک مدار سری ـ موازی را می‌توان ساده کرد.
بدین ترتیب که مقاومتهای هر گروه به یک مقاومت ساده شده
و سپس این مقاومتهای معادل نیز به یک مقاومت معادل منفرد
کاهش یابد.

در اینجا میزان گروه A برابر 90Ω، میزان
گروه B برابر 90Ω و گروه C نیز برابر 90Ω است.
در اینصورت میزان کل مدار برابر 30Ω می‌گردد.

مقاومت معادل ـ
مقاومت معادل ـ
مقاومت معادل







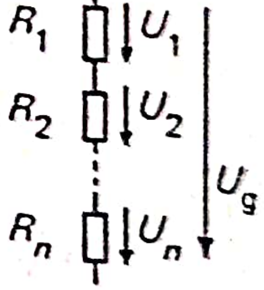
مداری که در پایین دیده می‌شود، کاهش شدید مدار بالا را به ساده‌ترین فرم نشان می‌دهد.

به‌عبارتی مقاومتها به یک مقاومت معادل کاهش می‌یابد.

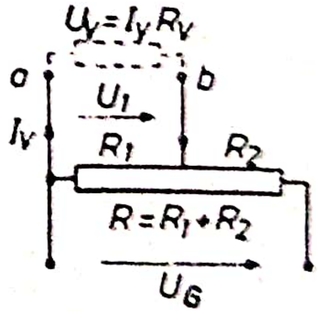
البته این در صورتی امکان‌پذیر می‌باشد که نخست هر یک از مقاومتهای گروه‌های B و C به یک .... ساده شده

و سپس مقاومتهای مدار معادل به یک .... کاهش یابد.

مقاومت معادل ـ مقاومت معادل



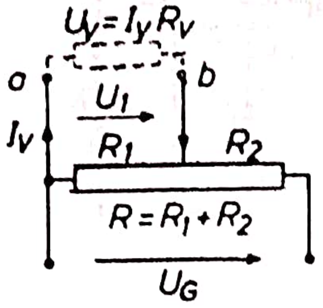
در اینجا تعدادی مقاومت به طور سری بسته شده‌اند. ولتاژ کل U_g به صورت ولتاژهای تقسیم شده‌ای روی یکایک مقاومتها تقسیم می‌شوند. به همین علت نیز به این عمل «تقسیم ولتاژ» می‌گویند. (به‌عبارتی ولتاژ کل U_g متناسب با مقادیر اهمی مقاومتها، روی یکایک مقاومتهای سری تقسیم می‌گردند.



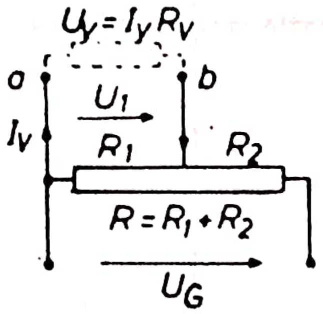
در شکل بالا به کمک این مقاومتها عمل .... انجام شده است.

تقسیم ولتاژ

در مورد این تقسیم ولتاژ می‌توان گفت:
«نسبت ولتاژهای تقسیم شده در اتصال سری به ولتاژ کل همانند نسبت مقاومتهای تقسیم شده به مقاومت کل می‌باشد».
مداری را که در آن تقسیم ولتاژ انجام می‌شود، «مقسم ولتاژ» می‌نامند.



مقسم ولتاژ — در شکل بالا تصویر یک .... دیده می‌شود.
مقسم ولتاژ — یک .... از مقاومت‌هائی تشکیل می‌گردد که باید به طور سری بسته شوند.
از مقسم ولتاژ در صورتی استفاده می‌شود که بخواهیم از یک ولتاژ ترمینال ثابت موجود فقط یک قسمت U_1 را که کوچکتر از U_G می‌باشد، اندازه‌گیری کنیم.



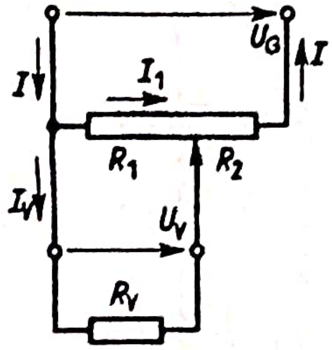
مقسم ولتاژ — شکل بالا تصویر یک .... را نشان می‌دهد.
مقسم ولتاژ در مواردی به کار می‌رود که بخواهیم از یک

ولتاژ ترمینال U_G فقط یک قسمت U_1 را اندازه‌گیری کنیم. $(U_1 < U_G)$.

در حالت بی‌باری، مقسم ولتاژ بی‌بار می‌شود.

در نتیجه درمورد ولتاژ U_1 می‌توان نوشت:

$$U_1 = U_G R_1/(R_1 + R_2) = U_G R_1/R$$



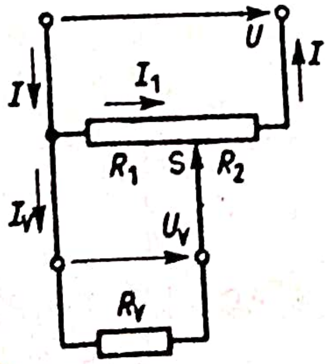
مقسم ولتاژ

در شکل بالا تصویر یک دیده می‌شود.

از مقسم ولتاژ در مواردی استفاده می‌گردد که بخواهیم از یک ولتاژ ترمینال معین U_G قسمتهائی از ولتاژ را اندازه‌گیری کنیم.

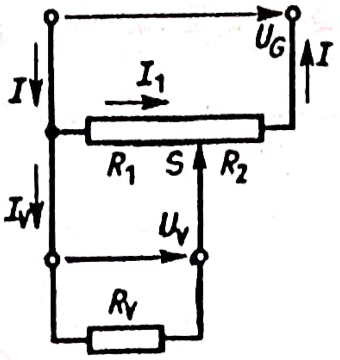
این مقسم ولتاژ دارای مقاومت $R = R_1 + R_2$ می‌باشد که روی سطح آن یک کنتاکت می‌تواند به این طرف و آن طرف حرکت کرده و مقدار مقاومت را تغییر دهد.

این کنتاکت را «کنتاکت متحرک» می‌نامند.



این مقسم ولتاژ، مقاومتی را نشا ن می‌دهد که روی سطح آن یک کنتاکت متحرک می‌تواند به این طرف و آن طرف لغزانده شود.

چنین مقاومتی را «مقاومت قابل تنظیم» می‌نامند.



مقاومت قابل‌تنظیم - کنتاکت متحرک

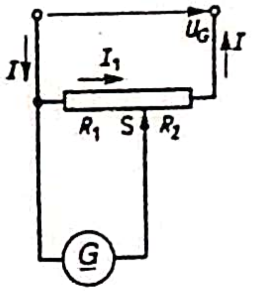
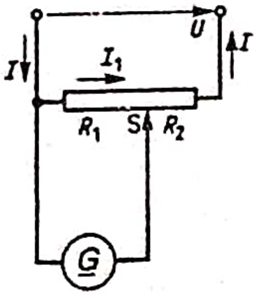
در اینجا توسط به مقاومتهای R_1 و R_2 تقسیم شده است.

بنابراین مقاومت کل مربوط به مقاومت قابل تنظیم S برابر با $R_1 + R_2$ می‌باشد.

اگر R_V به سمت بی‌نهایت نرود، در آن صورت باید R_1R_S بجای S کنتاکت قرار داده شود.

بنابراین در مورد مقاومت مقسم ولتاژ صدق می‌کند:

$$R_S = \frac{R_1 \cdot R_V}{R_1 + R_V}$$

در شکل بالا تصویر یک مدار تقسیم ولتاژ با R و S دیده می‌شود. با این کنتاکت می‌توان ولتاژها را اندازه‌گیری کرد.	مقاومت قابل تنظیم - کنتاکت متحرک
 در این مدار تقسیم ولتاژ به‌جای مصرف‌کننده، یک منبع ولتاژ متصل شده که میزان U_V آن نامشخص است. اگر کنتاکت را طوری تنظیم کنیم که بین R_1 و منبع ولتاژ جریانی عبور نکند، در آن صورت میزان U_V برابر با ولتاژ روی مقاومت R_1 می‌شود. بنابراین چنین مداری را که به عنوان یک مقسم ولتاژ عمل می‌کند «پتانسیومتر» می‌نامند.	
 شکل بالا تصویر یک .... را نشان می‌دهد. پتانسیومترها در مواردی به کار می‌روند که بخواهیم میزان	پتانسیومتر

	یک ولتاژ مشخص را از طریق مقایسه تعیین کنیم.
پتانسیومتر	بدین ترتیب که کنتاکت طوری تنظیم شود که بین مقاومت قابل تنظیم و منبع ولتاژ با میزان نامشخص، جریانی عبور نکند و به عبارتی ولتاژها تقسیم شوند. در نتیجه اندازهٔ ولتاژ منبع ولتاژ با اندازهٔ ولتاژ مقاومت قابل تنظیم یکسان می‌گردد.

«اتصال سری منابع ولتاژ»

به‌طور کلی اتصال سری منابع ولتاژ به صورت دو فرم وجود دارد:

۱ ـ اتصال سری کل ۲ ـ اتصال سری متقابل

در اتصال سری کل مطابق تصویر 1a ولتاژها در یک جهت پشت سرهم قرار می‌گیرند به طوری‌که می‌توان ولتاژها را با هم جمع کرد. بنابراین ولتاژ کل برابر است با :

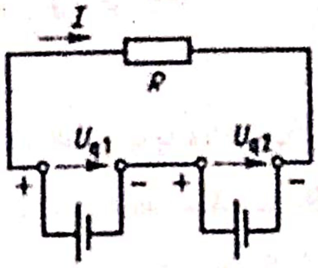
$U_{qg} = U_{q1} + U_{q2}$

همانطور که در تصویر 1b نشان داده می‌شود در اتصال سری متقابل جهت ولتاژها مخالف یکدیگر قرار گرفته‌اند به‌طوری‌که جهت پیکانها در هر صورت از مثبت به سمت منفی مشخص می‌گردد. حال اگر ما جهت U_{q1} را مثبت در نظر بگیریم، در آن صورت جهت پیکان U_{q2} با جهت پیکان U_{qg} مخالفت می‌کند و به همین علت نیز با علامت منفی نشان داده می‌شود. بنابراین در مورد ولتاژ کل رابطهٔ زیر را می‌توان نتیجه‌گیری کرد:

$U_{qg} = U_{q1} - U_{q2}$

البته این در صورتی است که در حالت استثنائی که $U_{q1} = U_{q2}$ می‌باشد، U_{qg} صفر شود.

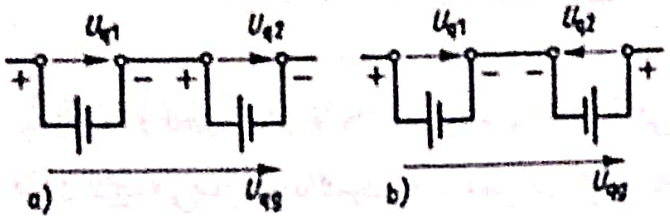
همانطور که در تصویر ۱ دیده می‌شود، منابع ولتاژ در «اتصال سری کل» با قطبهای غیرهمنام (مثبت با منفی) و نیز در «اتصال سری متقابل» با قطبهای همنام (مثبت با مثبت یا منفی با منفی) با یکدیگر ارتباط دارند. به‌طور کلی در بیشتر موارد به علت وجود اتصال سری، ازدیاد ولتاژ ایجاد می‌شود و به همین علت نیز «اتصال سری کل» ترجیحاً مورد استفاده قرار می‌گیرد. در «اتصال سری کل» جهت جریان باتوجه به جهت ولتاژ بدست می‌آید. بنابراین در مدار مربوط به شکل 1a جریان از یک مدار خارجی با مقاومت R که مطابق تصویر ۲ به آن بسته شده است، عبور می‌کند. جهت جریان در مدار مربوط به تصویر 1b بستگی به آن دارد که میزان کدامیک از دو ولتاژهای منبع بزرگتر باشد.



تصویر ۲ : منابع جریان در اتصال سری کل روی مقاومت خارجی R

$$U_{qg} = U_{q_1} + U_{q_2}$$

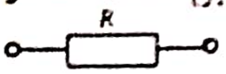
$$U_{qg} = U_{q_1} - U_{q_2}$$



تصویر ۱ : اتصال سری کل (a) و اتصال سری متقابل (b) با دو ولتاژ منبع Uq1 و Uq2

«دو قطبی خطی»

یک دو قطبی بنابر قانون اهم به صورت آرایش هادی‌هائی با دو قطب یا با دو ترمینال نشان داده می‌شود و با کمیتی مشخص می‌گردد که آن را مقاومت R می‌نامند. مقاومت R رابطهٔ بین ولتاژ و جریان بین نقاط اتصال را تعیین می‌کند. اگر تعدادی دو قطبی به یکدیگر متصل شوند، یک شبکهٔ دو قطبی تشکیل می‌گردد که می‌توان آن را روی یک دیاگرام نمایش داد و باتوجه به آن اتصال یکایک مقاومتها را مشخص کرد. در اینجا سمبل اتصال یک دو قطبی نشان داده می‌شود:



تصویر ۱ : سمبل اتصال یک مقاومت اهمی

بنابراین در یک دو قطبی خطی میزان ولتاژ و جریان نسبت به یکدیگر متناسب می‌باشند. به‌عبارتی میزان ولتاژ متناسب با جریان تغییر می‌کند.

یک ارتباط مطلوب بین ولتاژ و جریان مربوط به یک دو قطبی را می‌توان به صورت منحنی مشخصهٔ $i = f(u)$ نشان داد. به طور مثال در تصویر شمارهٔ ۲ ، منحنی مشخصهٔ یک چنین دو قطبی دیده می‌شود.

تصویر ۲ : منحنی مشخصهٔ یک دو قطبی غیرخطی

«المانهای مربوط به ساده‌ترین مدار جریان الکتریکی»

ساده‌ترین مدار جریان الکتریکی از یک منبع و یک مقاومت مصرف‌کننده تشکیل شده است. البته به ندرت تعدادی مقاومت مصرف‌کننده و نیز غالباً چندین منبع وجود دارند که به‌صورتهای مختلف توسط سیم‌های اتصال به‌یکدیگر بسته می‌شوند. به‌طور کلی در این حالت می‌توان گفت که این عضوها به صورت یک مدار به‌هم وصل می‌شوند. یک مدار از شاخه‌هائی تشکیل شده که در نقاط اتصال گره‌ای یا گره که در واقع همان نقاط انشعاب می‌باشند، به یکدیگر متصل می‌گردند. قسمتی از یک مدار را که از طریق اتصال شاخه‌ها به یکدیگر محدود می‌شوند، یک شبکه می‌نامند. هر شاخه می‌تواند دارای تعدادی مقاومت و منبع باشد.

در یک منبع، بدون وابستگی به باری که به آن متصل شده است ولتاژ ترمینال تقریباً ثابت باقی می‌ماند. در این صورت منبع دارای مقدار کمی مقاومت داخلی است به‌طوری‌که در تمام حالتهای بارداری در مقابل ولتاژ ترمینال دارای مقدار کمی افت ولتاژ می‌باشد. بنابراین منبعی را که در آن میزان ولتاژ ترمینال تقریباً ثابت باقی می‌ماند «منبع ولتاژ» می‌نامند.

اما منبع دیگری نیز وجود دارد که بدون وابستگی به میزان مقاومت مصرف‌کننده جریان ثابتی دارد که در این صورت میزان مقاومت داخلی منبع بسیار زیاد می‌باشد به‌صورتی که توسط مقاومت داخلی، جریان کل در مدار نیز در صورت تغییرات مقاومت در مدار خارجی عملاً تعیین می‌گردد.

بنابراین چنین منبعی که بدون در نظر گرفتن میزان بار جریان تقریباً ثابتی به‌بار تحویل می‌دهد، «منبع جریان» می‌نامند.

«اشاره‌ای به محاسبهٔ مدارهای سری ـ موازی»

اکثراً به منظور محاسبهٔ مدارهای سری ـ موازی توصیه می‌شود که با کاستن تعداد گره‌ها و شبکه‌ها حتی‌المقدور مدار معادل ساده‌ای را بدست بیاوریم. به‌طور مثال اتصالات سری و موازی مقاومتها به راحتی به مقاومتهای معادل قابل تبدیل می‌باشد. همچنین تبدیل اتصال شبکه‌ها به طور مثال تبدیل اتصال ستاره به اتصال مثلث و بالعکس امکان حل و محاسبهٔ معادلات کیرشهف را آسانتر فراهم می‌سازد. بنابراین بهتر است تبدیل اتصالات به‌صورتی انجام شود که حتی‌الامکان از تعداد شبکه‌ها کاسته گردد.

البته به‌منظور محاسبهٔ جریانها و ولتاژها باید نخست پیکانها را در مدار وارد کرد. پس از ترسیم پیکانهای مربوط به جهت ولتاژها و جریانها در مدار می‌توان از کلیهٔ معادلات نقطهٔ اتصال گره‌ای مستقل مدار و معادلات شبکه‌های مستقل مدار نیز استفاده کرد. در یک مدار دارای n نقطهٔ اتصال گره‌ای، تعداد معادلات نقطهٔ اتصال گره‌ای برابر n-1 می‌باشد و در صورت آنکه دارای m شاخه باشد، تعداد معادلات شبکه‌های مدار $m - (n - 1)$ خواهد بود.

اگر بخواهیم معادلات شبکه‌های مستقل مدار را بنویسیم باید در ابتدا شبکهٔ محاسبه شده را در مکان مورد دلخواه در مدار جدا کنیم و دوباره جریان دیگری را در مدار پیدا کنیم که در آن هیچگونه محل قطع انتخابی وجود نداشته باشد. باتوجه به تعداد m معادله که با m شاخه مطابقت دارد، تعداد m جریان مجهول را می‌توان محاسبه کرد و در نتیجه افت ولتاژها نیز روی مقاومتهائی که جریانها از آنها عبور می‌کنند، تعیین می‌گردد.

فصل دوم

میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی

مغناطیس

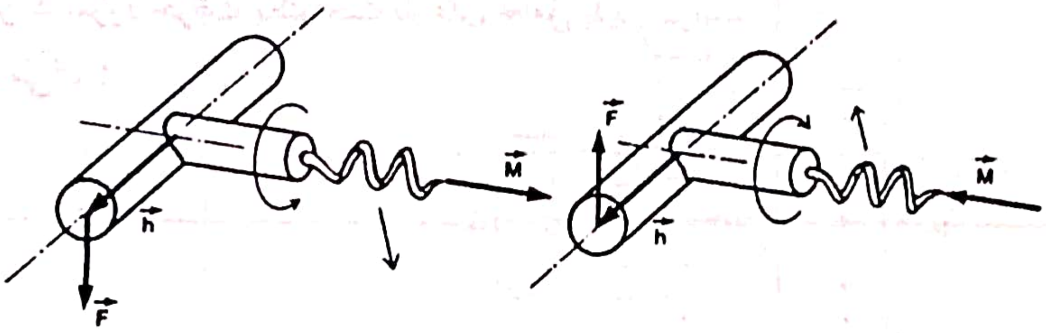
خاصیت مغناطیسی زمانی به‌وجود می‌آید که بار حامل به‌طور نسبی به طرف یک ناظر ساکن در حال حرکت باشد. به‌عبارتی دیگر مغناطیس به‌طور غیرمستقیم با جریان الکتریکی در ارتباط است به طوری که میزان شدت در جریانها در منابع مختلف با شدت مغناطیس در ارتباط می‌باشد (جریانها در هادی به طور مثال در اجسام جامد یا مایعات، تغییر مکان جریانها به‌طور مثال در خازن به‌صورت شاردی الکتریک به‌طور زمانی و جریانهای کنوکسیونی به‌صورت حرکت بارهای حامل در مکان). از این حرکت نسبی می‌توان نتیجه گرفت که مغناطیس یک پدیدهٔ نسبی است.

جهت گشتاور نیز با این حرکت ارتباط تنگاتنگی دارد و به عنوان یک عامل کمی در میزان مغناطیس محسوب می‌گردد بنابراین گشتاوری که در مکان توسط جریان تحریک می‌شود خصوصیت باری را دارد که به صورت میدانی در خارج از مکان موجود خود تأثیر می‌گذارد به طوری که این تأثیر در هر نقطه از نظر تئوری تا بی‌نهایت ادامه دارد. از نظر عملی با افزایش فاصله از همان نقطه از شدت مکانی آن کاسته می‌گردد زیرا انرژی میدان به طور محدودی باقی می‌ماند. ادامهٔ این تأثیر مکانی گشتاور در مورد بار ساکن زمانی صدق می‌کند که در قسمتی از مکا ن کثرت یا نقصان بار حامل به‌صورت پلاریته موجود باشد. در مورد بار حامل متحرک این ادامهٔ تأثیر در صورتی معتبر است که در قسمتی از مکان (که به طرف خارج دارای تأثیر الکتریکی خنثی باشد) وجود داشته باشد به‌طور مثال در سیم.

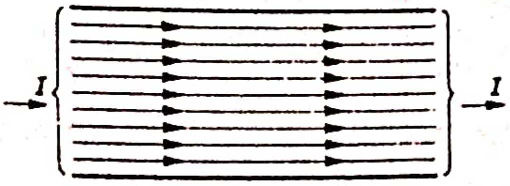
این تأثیر قابل گسترش در مواد موجود می‌تواند همانگونه منشاء میکروسکوپی (جریان حلقوی مولکولی) داشته باشد که منشاء ماکروسکوپی (جریان در سیم پیچ) دارد. به‌عبارتی از طرف خودش روی آرایشهای میکروسکوپی و ماکروسکوپی بارهای حامل در حال حرکت از نظر گشتاور آنها تأثیر بگذارد. به‌طوریکه به‌صورت یک تأثیر متقابل روی تحریک آنها واکنش نشان می‌دهد.

در اینجا گشتاور به‌عبارتی ساده‌تر در جهت یک حرکت مداری بار حامل بوده و

عمود بر سطحی می‌باشد که در هر صورت قابل خم شدن است و در جهت حرکت پیچشی به‌طرف راست (حرکت چرخشی راستگرد) قرار دارد. آرایشهای متحرک تا حد امکان جهت خود را با چرخیدن مطابق گشتاوری می‌کنند که در جای دیگر تولید می‌شود و با یک تغییر اتفاقی تحریک که قبلاً موجود بوده است (عمل) در نتیجه در جهت حفظ گشتاور عکس‌العمل نشان می‌دهد.

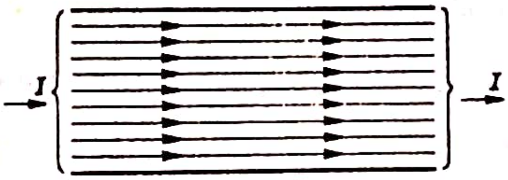


حرکت چرخشی راستگرد به‌طور مثال در «در بطری بازکن (چوب پنبه‌ای)»



عبور جریان I در واقع بیانگر مقداری بار Q از بارهای حامل است که از سطح مقطع یک هادی در واحد زمان t عبور می‌کند. بنابراین در مورد حرکت یکنواخت بارهای حامل بدین ترتیب صدق می‌کند:

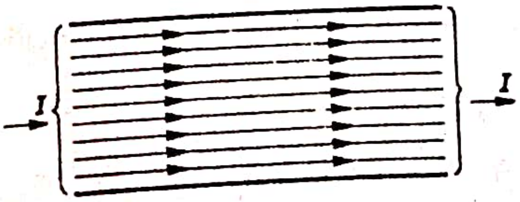
$I = \frac{Q}{I}$



از این هادی جریان I عبور می‌کند.

در شکل بالا عبور جریانهای بارهای حامل از سطح مقطع معینی در واحد زمان نشان داده می‌شود.

اگر سطح مقطع هادی ثابت باشد در آن صورت جریان همگن (یکنواخت) است که در اینجا به‌طور ترسیمی با خطوط جریان که به‌صورت موازی و مستقیم می‌باشد، نمایش داده می‌شود.

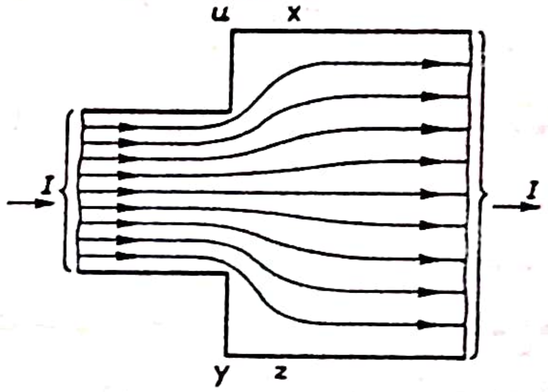


از این هادی جریان I عبور می‌کند.

شکل بالا تصویر .... همگن را نشان می‌دهد زیرا .... در تمام طول هادی به‌طور موازی و مستقیم‌الخط جریان دارد.

در جریانهای .... چگالی جریان الکتریکی در هر سطح مقطع ثابت باقی می‌ماند.

جریانی ـ خطوط جریان
همگن



از این هادی جریان عبور می‌کند.

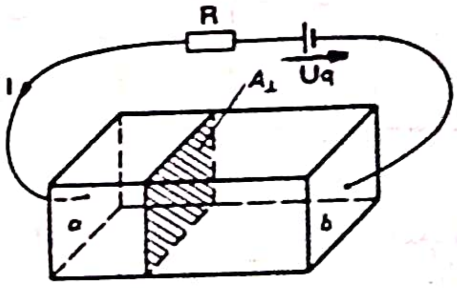
آیا شکل بالا تصویر یک جریان همگن را نشان می‌دهد؟ بله یا خیر؟

این جریان همگن نیست. .... در اینجا در تمام طول هادی به‌صورت موازی و مستقیم‌الخط جریان ندارد.

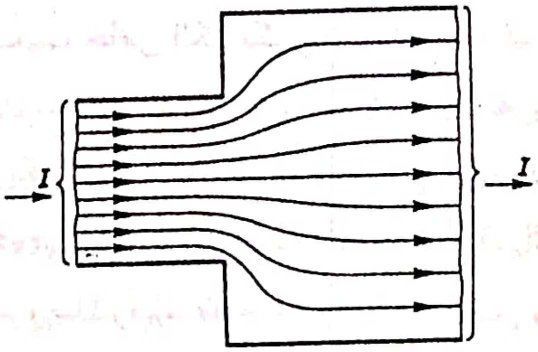
در قسمت Ux − Yz جریان غیرهمگن است.

در .... چگالی شارالکتریکی ثابت نمی‌باشد.

خیر
خطوط جریان
جریانهای
غیرهمگن



جریان I از این مدار جریان عبور می‌کند. جریان در قسمت گسترش و یا به‌عبارتی بار یکی هادی (a,b) می‌شود و چگالی جریان الکتریکی در سطح مقطع‌های مختلف ثابت نیست.	غیرهمگن
تقسیم مکانی جریان همگن در هادی به‌صورت خارج قسمت جریان I به سطح مقطع *A که جریان از آن عبور می‌کند، نشان داده می‌شود که این خارج قسمت به صورت چگالی جریان J بیان می‌گردد. بنابراین در مورد J در جریان همگن صدق می‌کند: $J = I/A\perp$ در اینجا I ، $A\perp$ و J علامت می‌باشد.	چگالی جریان شدت جریان ـ سطح مقطع هادی ـ چگالی جریان
چگالی جریان شدت تأثیر مکانی جریان را بیان می‌کند و واحد چگالی جریان برحسب A/mm^2 می‌باشد که به عنوان کمیت مهمی از نظر گرمای مکانی هادی محسوب می‌گردد و در مورد هادی دارای مقدار ماکزیمم مجازی می‌باشد به‌طوری‌که اگر از آن حد تجاوز کند مادهٔ هادی خراب می‌شود.	
$A\perp$ (A عمود بر) $\perp$: این علامت بدان معنا است که سطحی یا خطی عمود بر کمیت دیگری قرار دارد. در اینجا کمیت دیگر جهت جریان می‌باشد.	



از این هادی جریان عبور می‌کند.

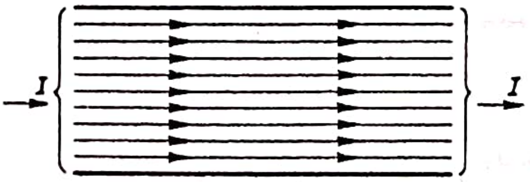
در شکل بالا قسمتی از تصویر جریان   و قسمتی
دیگر جریان   را نشان می‌دهد. در اینجا   ثابت
نیست و با فاصلهٔ   نسبت معکوس دارد.

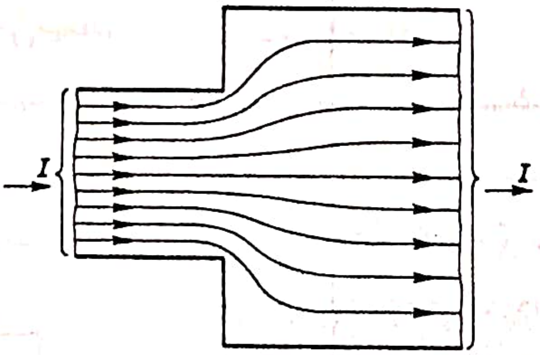
همگن ـ غیرهمگن
چگالی جریان ـ
خطوط جریان ـ

به‌عبارتی هرچه فاصلهٔ خطوط جریان بیشتر می‌شود به همان نسبت چگالی جریان کمتر می‌گردد.

چگالی جریان توسط میزان و جهت آن در مکان تعیین می‌شود که به صورت یک بردار مشخص می‌گردد که آن را «بردار چگالی J» می‌نامیم.

جهت چگالی جریان در جهت جریان بارهای مثبت نشان داده می‌شود که از قطب مثبت به طرف قطب منفی امتداد دارد.





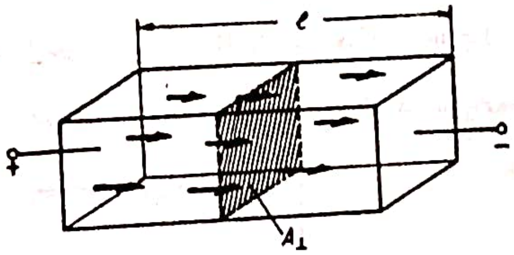
در مورد هرسطح مقطعی در یک هادی که از آن جریان

چگالی جریان

الکتریکی عبور می‌کند،   معین J وجود دارد.

بنابراین در تمام مکان مورد نظر یک وضعیت خاص الکتریکی حکفرما است.

مکانهائی که در آنها یک وضعیت فیزیکی معینی در همه‌جا وجود دارد به‌صورت میدانهائی نشان داده می‌شوند که در اینجا ما آنرا «میدان جریان الکتریکی» می‌نامیم و با ترسیم خطوط جریان آنرا نمایش می‌دهیم.

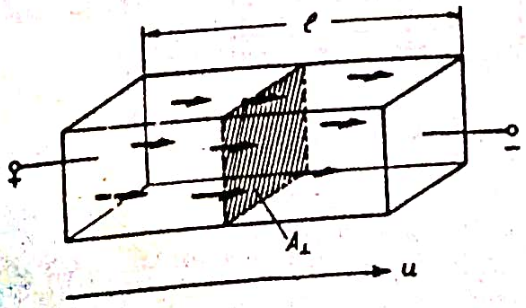


در این هادی، الکترونهائی وجود دارند که با وضعیت الکتریکی خاصی جریان دارند که در نتیجه در آن میدان جریان الکتریکی بوجود می‌آید.

میدان جریان الکتریکی

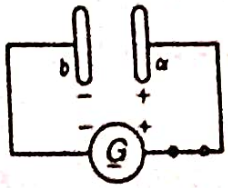
یک میدان برداری است زیرا وضعیت آن دارای جهت می‌باشد.

بنابراین شکل بالا مربوط به یک «میدان جریان الکتریکی» می‌شود که توسط بردارهائی نشان داده می‌شود.



جریان در این هادی توسط ولتاژ U که بین پایانه‌های آن وجود دارد، مشخص می‌شود. اگر هادی دارای طول l باشد در آن صورت ولتاژ به‌صورت U/l بیان می‌شود. حال اگر l در جهت حداکثر تغییر ولتاژ اندازه‌گیری شود در آن صورت رابطهٔ ولتاژ هر واحد طول هادی به صورت اندازهٔ میدان الکتریکی E بیان می‌شود. بنابراین در مورد E در میدان جریان همگن به‌صورت زیر معتبر است : $E = \frac{U}{l}$ E در جهت جریان، افزایش ولتاژ در هر طول هادی را نشان می‌دهد.	اندازهٔ میدان الکتریکی اندازهٔ میدان الکتریکی
اندازهٔ میدان الکتریکی در میدان جریان برابر با نیروی وارد بر هر بار است به‌طوری که تحرک روی بار حامل را در بار Q توصیف می‌کند. بنابراین معتبر است: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q}$ بنابراین $\vec{E}$ کاهش ولتاژ در طول هادی را بیان می‌دارد. E نیروی است که روی واحد بار تأثیر می‌گذارد و بیانگر کمیتی است که در مکان دارای جهت می‌باشد.	اندازهٔ میدان الکتریکی
اندازهٔ میدان الکتریکی و چگالی جریان به‌منظور توصیف میدانهای جریان به کار می‌رود. از آنجائی که اینها جزو کمیت‌های میدان محسوب می‌شوند می‌توان آنها را کمیت‌های میدان الکتریکی نامید.	

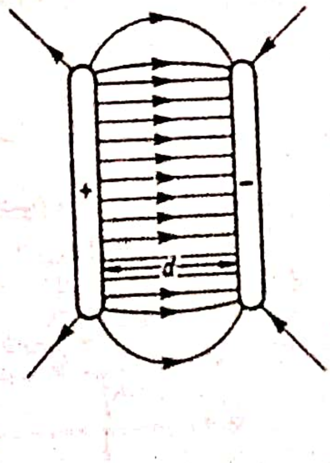
در هادی‌هائی که از نظر مکانی گسترش دارند و دارای بارهای حامل در حال جریان هستند، می‌توان دو کمیت میدان را توصیف کرد. یکی از کمیتهای میدان، چگالی جریان و کمیت دیگر اندازهٔ میدان الکتریکی است که هر دوی این کمیتها بُرداری هستند.



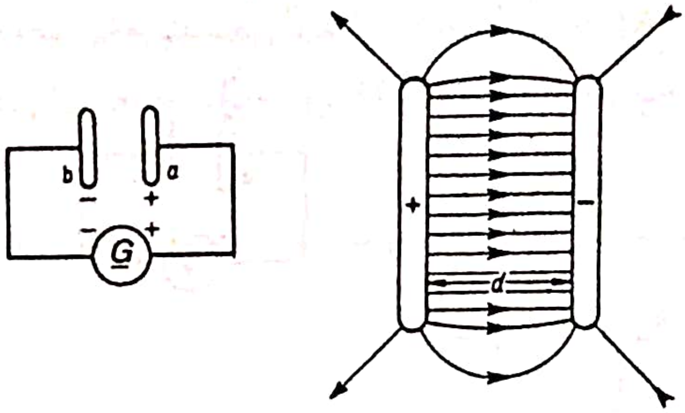
شکل بالا یک مدار جریان را نشان می‌دهد که در آن پایانه‌های هادی از دو صفحهٔ فلزی (a,b) تشکیل شده‌اند.

اگر کلید را ببندیم در آن صورت به‌طور کوتاه مدت جریانی عبور می‌کند که صفحات را به‌صورت صفحات مثبت و منفی باردار می‌کند تا حدی‌که ولتاژ روی صفحات با ولتاژ روی ترمینالهای مولد جریان برابر می‌شود.

در اینجا در بین صفحات، میدان دی الکتریک به وجود می‌آید:



میزان ولتاژ ترمینال در مولد جریان از یک حد معینی نمی‌تواند تجاوز کند زیرا در غیراینصورت یک تخلیهٔ خود به‌خودی بارهای صفحات در فاصلهٔ هوائی صورت می‌گیرد.



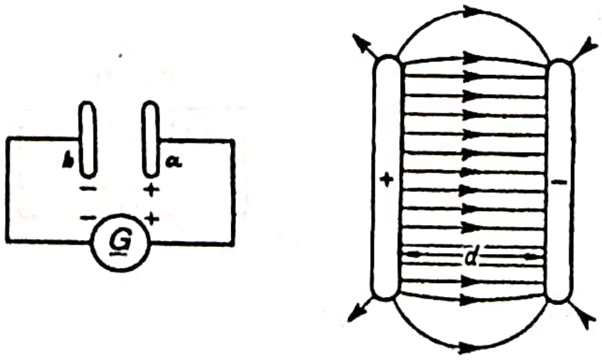
در بین این صفحات یک   وجود دارد به‌طوری | میدان‌دی‌الکتریک
که این میدان دی الکتریک با ترسیم خطوط میدان نشان داده می‌شود.

میدان دی‌الکتریک از نظر تئوری حوزهٔ نامحدودی دارد اما از نظر عملی از شدت آن در صورتی کاسته می‌گردد که در یک مسافتی دیگر قابل اندازه‌گیری نباشد.

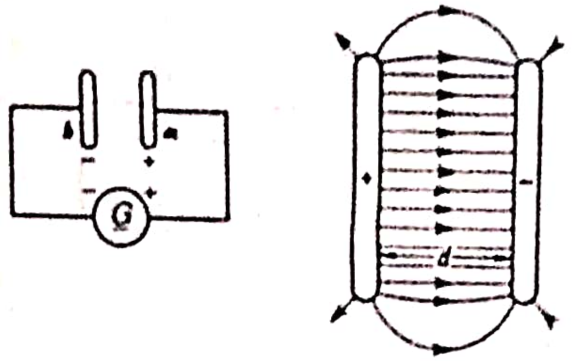
خطوط میدان نشان می‌دهد که میدان بین صفحات به میزان زیادی همگن است.

کاهش شدت میدان با ترسیم خطوط میدانی که تا بی‌نهایت ادامه دارد، نشان داده می‌شود.

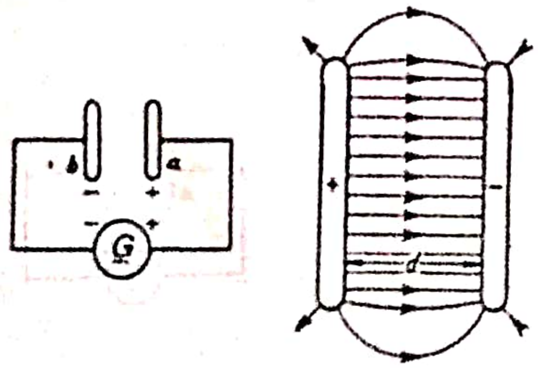
بنابراین از   به‌منظور ترسیم میدان استفاده‌می‌شود. | خطوط میدان

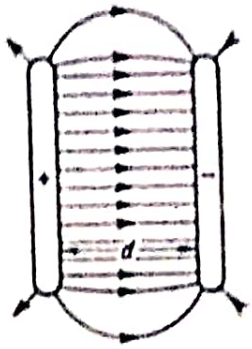
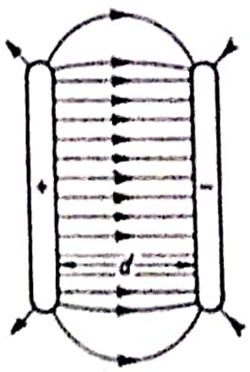


در بین این صفحات یک میدان دی‌الکتریک وجود دارد. این میدان را یک «میدان الکترواستاتیک» نیز می‌نامند و ماده‌ای که در میدان الکترواستاتیک وجود دارد، نامیده می‌شود.	دی‌الکتریک



در بین هر دوی این صفحات موازی یک تشکیل شده است. به‌طوری‌که این میدان با ترسیم خطوط میدان نشان داده می‌شود.	میدان الکترواستاتیک
ماده‌ای که در آن یک میدان الکترواستاتیک وجود دارد، نامیده می‌شود. مادهٔ دی الکتریک یک ایزولاتور است. برخلاف میدانهای جریان در هادی‌ها، میدانهای الکتریکی در ایزولاتورهای بدون جریان پس از پایان فرآیند بار دار شدن، میدانهای الکترواستاتیک را بوجود می‌آورند.	دی الکتریک



	در این مدار جریان یک میدان الکترواستاتیک در صورتی تشکیل می‌شود که در این آرایش ولتاژی اعمال شده باشد و فرآیند باردار شدن به پایان رسیده باشد که در این حالت صفحات را الکترود می‌نامند. حامل بارهای مخالف یکدیگر هستند به‌طوریکه یک الکترود حامل بار مثبت و الکترود دیگر حامل بار منفی می‌باشد.
الکترودها	
	 هر دوی این حامل بارهای غیر همنام هستند و در بین این الکترودها میدانی به‌صورت متراکم وجود دارد. بنابراین چنین آرایشی با دو الکترود را یک «خازن» می‌نامند.
الکترودها	
	 شکل بالا تصویر یک را نشان می‌دهد.
خازن	

اگر در آرایش الکترودها میزان ولتاژ روی الکترودها به‌طور زمانی تغییر کند در آن صورت رابطهٔ مقدار بارهائی که روی الکترودها ذخیره شده است با میزان ولتاژ ثابت باقی می‌ماند.

بنابراین مقدار بارها همیشه در رابطه با ولتاژ تغییر می‌کند.

به‌عبارتی مقدار بارها با میزان ولتاژ متناسب است.

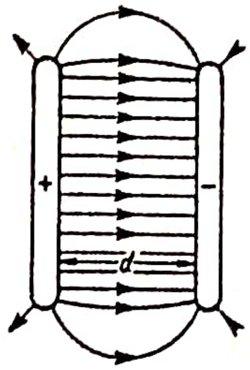
رابطهٔ مقدار بار با ولتاژ را به‌صورت ظرفیت C خازن نشان می‌دهند و واحد ظرفیت را برحسب فاراد (F) بیان می‌کنند.

فاراد

در مورد (F) معتبر است :

$$1F = \frac{1C}{1V}$$

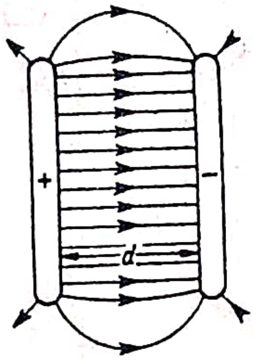
البته عملاً این طور نشان داده می‌شود که واحد 1F خیلی بزرگ انتخاب شده است و واحدهای کوچکتر عبارتند از میکروفاراد $1\mu F$ ، پیکو فاراد pF وغیره.



خازن

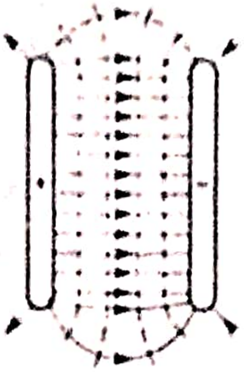
ظرفیت

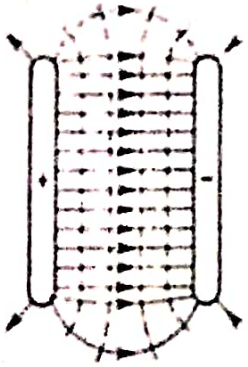
در اینجا تصویر یک دیده می‌شود. ظرفیت C خازن بیان می‌کند که در صورت ازدیاد ولتاژ چه مقدار بار افزایش می‌یابد. به‌عبارتی دیگر C خازن نشاندهندهٔ رابطهٔ مقدار بار با میزان ولتاژ بوده و برحسب فاراد (F) بیان می‌گردد.



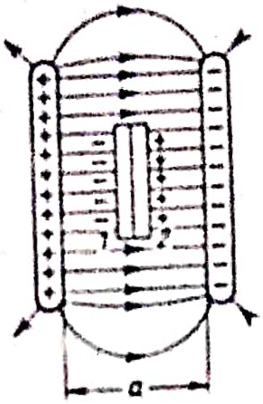
در شکل بالا تصویر یک .... دیده می‌شود. دراینجابین‌الکترودهایک .... تشکیل‌شده است به‌طوری که خطوط میدان از الکترود .... به‌طرف‌الکترود .... جریان دارد و عمدتاً به‌طور موازی و مستقیم‌الخط هستند. بنابراین یک چنین میدانی را یک میدان همگن می‌نامند.	خازن میدان‌الکترواستاتیک مثبت ـ منفی
در میدان همگن اندازهٔ میدان الکتریکی E با خارج قسمت ولتاژ U به‌فاصلهٔ بین صفحات d برابر است. ببابراین صدق می‌کند: $E = \frac{U}{d}$ E .... ، U .... و d .... می‌باشد. بنابراین روی الکترودهای یک خازن هرچه میزان ولتاژ بین الکترودها بیشتر شود، به همان نسبت بار بیشتری ذخیره می‌گردد. در نتیجه در هوا به‌طور مجاز حداکثر میانگین $E = 3000V/_{mm}$ است.	اندازهٔ میدان الکتریکی ـ ولتاژ ـ فاصلهٔ بین صفحات
به‌طور کلی می‌توان برای نقاط مختلف میدان	

الکترواستاتیک، پتانسیل‌های مختلفی را نیز در نظر گرفت به‌طوری که اگر نقاطی را که دارای پتانسیل یکسانی هستند به هم متصل کنیم، در آن صورت خطوط هم پتانسیل بدست می‌آید:



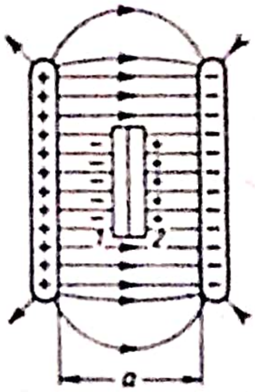


در اینجا خطوط میدان و مربوط به صفحات یک خازن نمایش داده می‌شود.	خطوط هم‌پتانسیل
خطوط میدان و همیشه به‌طور عمودی یکدیگر را قطع می‌کنند.	خطوط هم‌پتانسیل
نقاطی را که پتانسیل یکسانی دارند، به‌هم وصل می‌کنند.	خطوط هم‌پتانسیل



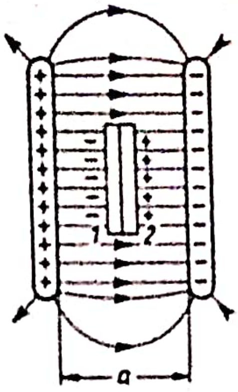
در این میدان الکترواستاتیک اجسام ۱ و ۲ که از دو صفحهٔ فلزی تشکیل شده‌اند، قرار می‌گیرند. حال اگر هر دو صفحات را از هم جدا کنیم در آن صورت نشان می‌دهد که صفحات حامل بارهای الکتریکی غیرهمنام می‌باشند.

در این اجسام ۱ و ۲ بارها از هم جدا شده‌اند و این جدائی بارها از طریق تأثیر القاء صورت می‌گیرد.



در اجسام ۱ و ۲ بارها به‌علت تأثیر میدان الکترواستاتیک از هم جدا گشته‌اند. پس می‌توان گفت: در اجسام بارها القاء شده‌اند.

چنین فرایندی را القاء می‌نامند. شرط القاء وجود میدان دی الکتریک است که روی جدائی بارها تأثیر می‌گذارد.

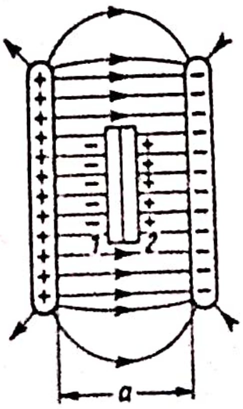


القاء

مقدار بارهای اجسام ۱ و ۲ شده‌اند. به عبارتی به‌علت تأثیر میدان الکترواستاتیک از هم جدا گشته‌اند.

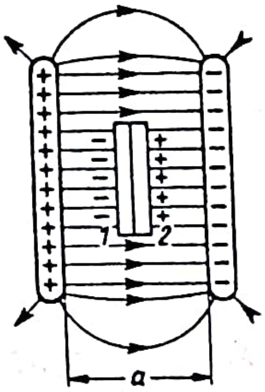
حال اگر در صورت یکسان بودن میزان ولتاژ و شدت میدان، دی‌الکتریک را تغییر دهیم در آن صورت میزان بارهای القا شده تغییر می‌کند. پس می‌توان گفت که میزان بارهای القا شده به نوع دی‌الکتریک نیز بستگی دارد.

به‌منظور توصیف جدائی بارها و یا به عبارتی رانش بارها از بردار میدان $\vec{D}$ استفاده می‌گردد که آنرا «چگالی شار الکتریکی» نیز می‌نامند.



میدان الکترواستاتیک توسط اندازهٔ میدان الکتریکی E و

$\vec{D}$ مشخص می‌گردد. $\vec{D}$ یک بُردار است و رانش بارها را مشخص می‌سازد. خارج قسمت D به E را «ضریب نفوذ» یا «عامل گذردهی ماده» می‌نامند که با علامت ε نشان داده می‌شود.	چگالی شارالکتریکی چگالی شارالکتریکی
ضریب نفوذ ε به‌صورت خارج قسمت چگالی شارالکتریکی D و اندازهٔ میدان الکتریکی E بیان می‌شود. بنابراین صدق می‌کند: $\varepsilon = \frac{D}{E}$ و همچنین معتبر است: $D = \varepsilon E$ به‌عبارتی چگالی شارالکتریکی D با حاصلضرب و برابر است. در بسیاری از مواد ضریب نفوذ ε یک عامل ثابت است و در این حالت آنرا «ثابت دی‌الکتریک» می‌نامند.	ضریب نفوذ ـ اندازهٔمیدان الکتریکی
بنابراین صدق می‌کند: $\varepsilon = \varepsilon_{\circ}\, \varepsilon_r$ $\varepsilon_{\circ}$ ثابت دی‌الکتریک در فضای آزاد نامیده می‌شود. در فضای آزاد برابر ا ست با $۸/۸۵۴۲ \times ۱۰^{-۱۲} F/m$ ε_r ضریب نفوذ نسبی یک ماده در ۲۰°C است به‌طور مثال هوا در ۲۰°C دارای $\varepsilon_r = ۱/۰۰۰۶$ می‌باشد.	ثابت دی‌الکتریک ضریب‌نفوذ نسبی
ضریب نفوذ نسبی ε_r یک عدد نسبی بوده و به همین جهت بدون بُعد است.	

ε_r نشان می‌دهد که چند بار ضریب نفوذ نسبی یک ماده از ضریب نفوذ فضای آزاد بیشتر است. ε_r در بسیاری از مواد وابسته به درجهٔ حرارت است.	ضریب‌نفوذ نسبی
چگالی شارالکتریکی D در نقطهٔ معینی در میدان الکترواستاتیک، رابطهٔ بین ضریب نفوذ (ثابت دی‌الکتریک) و اندازهٔ میدان الکتریکی را توصیف می‌کند. اگر این رابطه در مورد تمامی مکان الکترواستاتیک قابل توصیف باشد در آن صورت باید چگالی‌های شارالکتریکی در هر نقطهٔ میدان بین الکترودهای مثبت و منفی در نظر گرفته شود. این کمیتی‌که از آن‌منتج می‌گردد، شار خارج‌شده از سطح‌یا شار خالص‌گذرنده از سطح‌می‌نامند که‌با علامت ψ آن را نشان‌می‌دهند.	
 در اینجا شار خالص گذرنده از بار Q^+ خارج شده و به بار Q^- منتهی می‌گردد. شار خالص گذرنده از سطح با میزان بار متناسب بوده و واحد شار الکتریکی با واحد بار برابر می‌باشد. شار الکتریکی برحسب کولمب اندازه‌گیری می‌شود.	

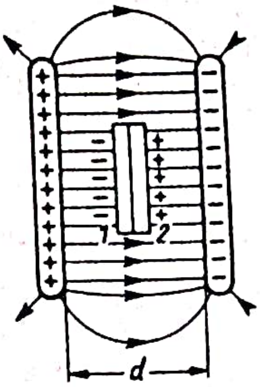
القای الکتریکی

در تحقیق و آزمایشات مربوط به‌میدان دی‌الکتریک در یک ایزولاتور (یا حتی در خلاء) در صورت وجود فقط میزان ولتاژهائی در حد متوسط قابل قبول است تا باعث جرقه‌های شدید ناشی از بالا بودن میزان ولتاژ نگردد و در نتیجه منجر به حرکت بارها در دی‌الکتریک (شکست الکتریکی) نشود. حال اگر مطابق شکل ۱ اجسامی را که از دو صفحهٔ فلزی ۱ و ۲ تشکیل شده‌اند در میدان قرار دهیم و سپس هر دو صفحات را از هم جدا کنیم آن وقت مشاهده می‌شود که هر صفحه دارای بار الکتریکی می‌گردد به‌عبارتی می‌توان گفت: مقداری الکتریسیته یا بار القاء شده است که این پدیده را «القاء» می‌نامند.

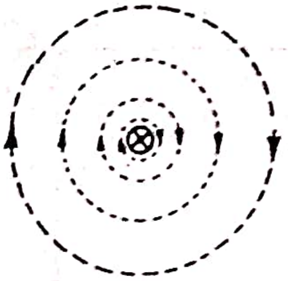
البته علت آن نیز در همه جای میدان وجود دارد حتی در محل صفحات که اندازهٔ میدان الکتریکی وجود دارد و باعث جدائی بارها شده است. در هر دو صفحات در پی اعمال نیروی میدان، الکترونها به سمت چپ رانده می‌شوند (بار منفی) در حالی‌که در سمت راست میزان الکترونها از حد نرمال کمتر می‌باشد (بار مثبت غلبه می‌کند).

حال اگر صفحات از ضخامت قابل توجهی برخوردار باشند در آن صورت میدان در لبه‌های آن دچار اعوجاج می‌گردد زیرا مکانی که توسط صفحات اشغال شده است پس از جدائی بارها فاقد میدان می‌شود. در نتیجه این فرآیند در اینجا دیگر ادامه نخواهد داشت.

در زمان آغاز عصر الکتروفیزیک در زمینهٔ فرآیند القاء آزمایشات زیادی به‌عمل آمد اما میزان جدائی بارها که از طریق این روش بدست می‌آمد آنقدر کم بود که امروزه دیگر در صنعت الکتروتکنیک نقشی ندارد و تنها به منظور تولید ولتاژهای خیلی بالا از این روش استفاده می‌گردد.



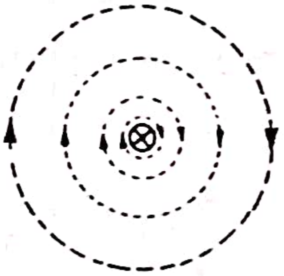
شکل ۱ : اجسام القا شده که از دو صفحهٔ ۱ و ۲ تشکیل ,
شده‌اند در میدان بین آرایش صفحات قرار دارند.



اگر جریان معینی از یک هادی خطی عبور کند در آن صورت در اطراف هادی یک میدان مغناطیسی ایجاد می‌گردد. البته میدانی که در داخل هادی تشکیل می شود در اینجا جزئی و قابل صرف نظر است اما میدان خارجی با ترسیم خطوط میدان نشان داده می‌شود و مغناطیسی به‌صورت خطوط بسته‌ای حول سطح مقطع هادی نمایش داده می‌شود. در اینجا از میزان شدت میدان با افزایش فاصله از سطح مقطع هادی که از آن جریان عبور می‌کند، کاسته می‌گردد و به‌همان نسبت فاصلهٔ بین زیادتر می‌شود.

خطوط میدان

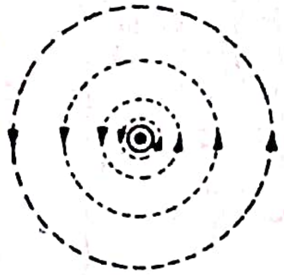
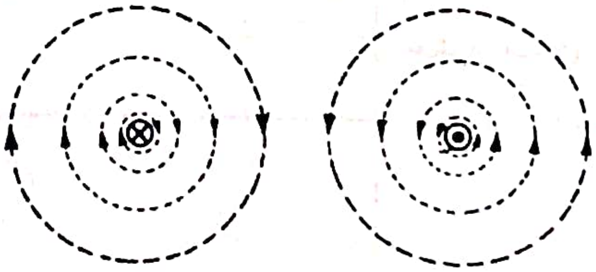
خطوط میدان

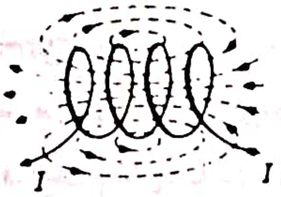


شکل بالا تصویر یک را نشان می‌دهد که در اطراف یک هادی خطی که از آن جریان عبور می‌کند، تشکیل شده است. به‌صورت خطوط بسته‌ای حول سطح مقطع هادی نمایش داده می‌شود. در اینجا علامت ضربدر نشان

میدان مغناطیسی

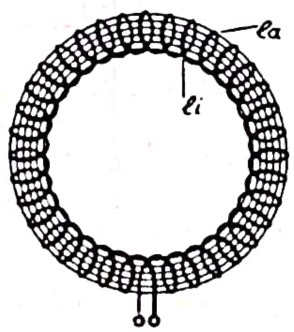
میدان مغناطیسی

می‌دهد که جریان در سطح تصویر وارد می‌شود.	
 آیا جریان در تصویر این هادی و میدان مغناطیسی‌اش در سطح تصویر وارد شده است؟ بله یا خیر؟ در سطح مقطع هادی علامت ضربدری وجود ندارد و فقط علامت یک نقطه نشان داده می‌شود. بنابراین جریان نه تنها در سطح تصویر وارد نمی‌شود بلکه از سطح تصویر خارج نیز می‌گردد.	خیر
 در اینجا تصویر دو هادی خطی با میدان مغناطیسی‌شان نشان داده می‌شود. در هادی مربوط به تصویر سمت چپ، جریان در سطح تصویر .... می‌شود و خطوط میدان در جهت حرکت عقربهٔ ساعت جریان دارد. در حالیکه در هادی مربوط به تصویر سمت راست، جریان از سطح تصویر .... می‌شود و خطوط میدان برخلاف جهت حرکت عقربهٔ ساعت جریان دارد.	وارد خارج



میدان مغناطیسی

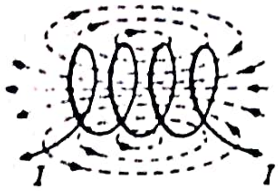
شکل بالا تصویر یک سیم‌پیچی را نشان می‌دهد که از آن جریان عبور می‌کند. خطوط میدان در داخل سیم‌پیچ به‌طور موازی و نزدیک به‌هم بوده و دارای چگالی یکسانی می‌باشد به‌طوری که هرچه طول سیم پیچ نسبت به قطر آن بیشتر شود، به همان نسبت این تراکم خطوط میدان نیز افزایش می‌یابد. بدین ترتیب در داخل سیم‌پیچ یک میدان و همگن متراکم بوجود می‌آید. در این حالت هر دو سوراخهای سیم‌پیچ مانند قطبهای شمال و جنوب یک آهنربای مغناطیسی میله‌ای عمل می‌کنند به‌عبارتی از سمت چپ سیم‌پیچ خطوط خارج می‌شوند و در نتیجه سوراخ سمت چپ مانند قطب شمال آهنربا عمل می‌کند در حالیکه به‌سوراخ سمت راست دوباره خطوط وارد می‌شوند و در نتیجه سوراخ سمت راست مانند قطب جنوب آهنربا عمل می‌کند.



شکل بالا تصویر یک سیم‌پیچ مُدور (چُنبره‌ای) را نشان

می‌دهد.

اگر میزان اختلاف محیط داخل و محیط خارج سیم‌پیچ (محیط داخل li و محیط خارج la) کم باشد در آن صورت در داخل سیم‌پیچ یک میدان متراکم و همگنی بوجود می‌آید که البته فضای خارج از سیم‌پیچ نیز بدون میدان است.



تصویر بالا میدان مغناطیسی سیم‌پیچی را نشان می‌دهد که از آن جریان عبور می‌کند.

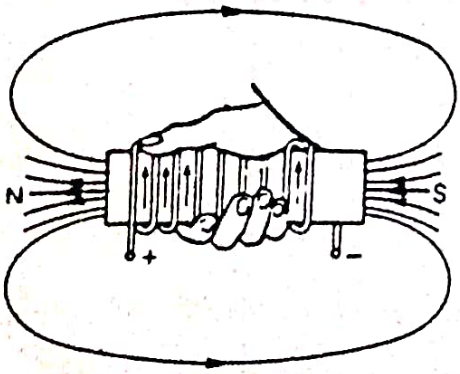
خطوط میدان از سوراخ سمت چپ سیم‌پیچ خارج می‌شود

قطب شمال

به‌عبارتی سوراخ سمت چپ مانند   یک آهنربای مغناطیسی میله‌ای عمل می‌کند در حالیکه خطوط میدان دوباره به‌سوراخ سمت راست سیم‌پیچ وارد می‌شود و سوراخ سمت

قطب جنوب

راست مانند   یک آهنربای مغناطیسی میله‌ای عمل می‌کند.

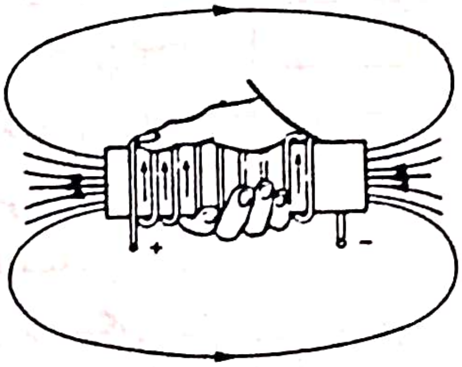


به‌منظور تعیین قطبهای شمال و جنوب یک سیم‌پیچ از قانون

زیر نیز می‌توان استفاده کرد:

با دست راست سیم‌پیچ را طوری بگیریم که جهت انگشتان در جهت جریان خم شود و جهت شست دست راست در جهت قطب شمال باشد در این صورت قطب شمال در سمت ...... قرار می‌گیرد. چپ

چنین قانونی را «قانون دست راست» می‌نامند.



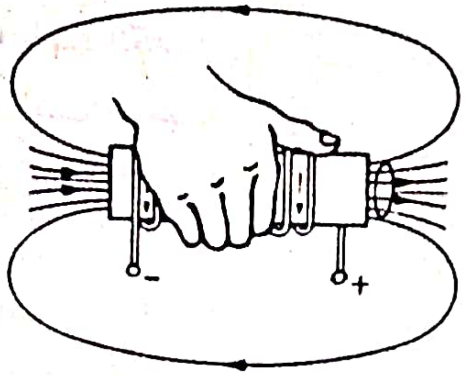
اگر بخواهیم در این سیم‌پیچ جهت قطب شمال و جنوب را مشخص سازیم در آن صورت می‌توانیم از «قانون دست راست» استفاده کنیم.

بنابر قانون دست راست صدق می‌کند:

باتوجه به‌تصویر بالا قطب شمال در سمت ...... قرار دارد چپ

زیرا جهت انگشت شست، سمت ...... را نشان می‌دهد در چپ

حالیکه‌جهت انگشتان در جهت جریان خم شده‌اند. بنابراین با استفاده از قانون دست راست در صورت مشخص بودن جهت جریان می‌توان قطب‌ها را مشخص کرد و بر عکس در صورت مشخص بودن قطب‌ها جهت جریان را تعیین کرد.



در این سیم‌پیچ   در جهت سمت چپ و در جهت سمت راست قرار دارد. در این سیم‌پیچ یک میدان همگن و متراکم وجود دارد زیرا خطوط میدان موازی و مستقیم‌الخط هستند و دارای چگالی یکسانی می‌باشد.

حال اگر تعداد خطوط میدان و یا به‌عبارتی فاصلهٔ بین خطوط میدان در هر واحد سطح تعیین شود در آن صورت چگالی شار مغناطیسی B یا بردار میدان مغناطیسی بدست می‌آید.

قطب جنوب ـ قطب شمال

B را   یا   می‌نامند.

چگالی شار مغناطیسی ـ بردار میدان مغناطیسی

واحد چگالی شار مغناطیسی B در سیستم SI تسلا می‌باشد و یک تسلا برابر با یک وبربر متر مربع ($1Wb/m^2$) است.

در مورد   B واحدهای زیر نیز معتبر است:

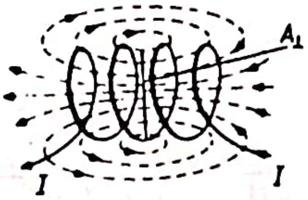
۱ آمپر دور بر متر = ۱۰

۱ آمپر دور بر متر = 10^4 گوس (G) = اوبر بر مترمربع (Wb/m^2) = 1 تسلا (T)

چگالی شار مغناطیسی را «القای مغناطیسی» هم می‌نامند.

چگالی شار مغناطیسی

در مورد یا B واحدهای زیر نیز بکار می‌رود: یک وبر برمتر مربع ($1Wb/m^2$) = یک تسلا (T) = ۱۰^۴ گوس (G) = یک آمپر دوربر متر	چگالی شار مغناطیسی ـ القای مغناطیسی
بنابراین و واحدهای چگالی شارمغناطیسی نامیده می‌شوند.	تسلا ـ گوس
یا B دارای اندازه و جهت بوده و به‌همین علت به‌عنوان یک بردار شناخته می‌شود که آنرا «بردار میدان مغناطیسی» نیز می‌نامند.	چگالی شار مغناطیسی ـ القای مغناطیسی



در داخل این سیم‌پیچ یک میدان مغناطیسی تقریباً همگنی بوجود می‌آید.

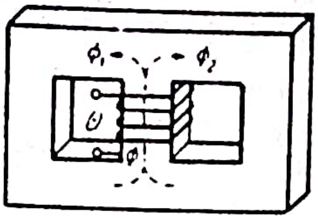
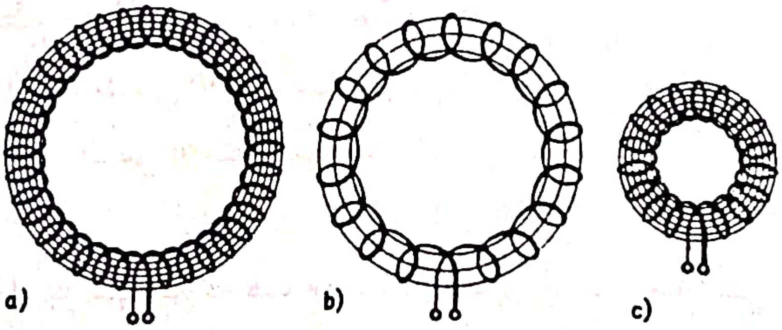
از حاصلضرب سطح مقطع معین A⊥ در چگالی شار مغناطیسی B می‌توان شار مغناطیسی Φ را بدست آورد.

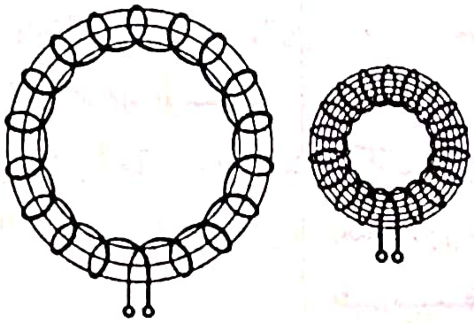
بنابراین در مورد شار مغناطیسی Φ صدق می‌کند:

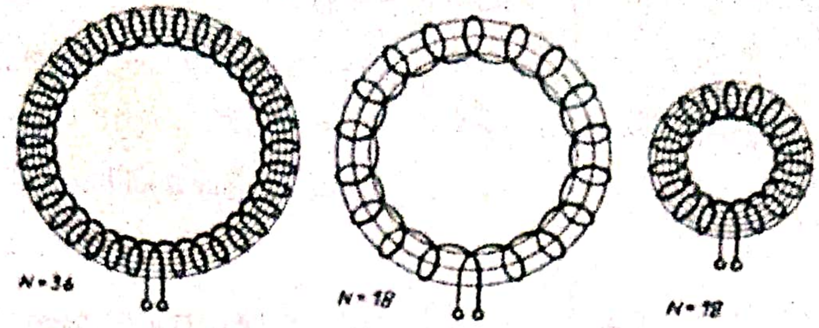
$\Phi = B.\ A\perp$

شار مغناطیسی — Φ در داخل این سیم‌پیچ در همه‌جا اندازهٔ یکسانی دارد.

واحد شار مغناطیسی Φ در سیستم SI وبر (Wb) است و یک وبر (Wb) برابر با یک ولت بر ثانیه می‌باشد.

بنابراین شار مغناطیسی Φ را می‌توان برحسب کرد. یک برابر با یک ولت بر ثانیه است.	اندازه‌گیری	وبر وبر
 شکل بالا تصویر یک سیم‌پیچی را نشان می‌دهد که از آن جریان عبور می‌کند به‌طوریکه در میدان مغناطیسی آن به‌صورت شار Φ_1 و شار Φ_2 منشعب می‌گردد. در مورد شار مغناطیسی Φ نیز همانند جریان I «اصل نقطهٔ اتصال گره‌ای» صدق می‌کند: مجموع تمام شارهای تقسیم شده در انشعاب شار برابر صفر است. (اصل نقطهٔ اتصال گره‌ای : مجموع جریان‌های الکتریکی وارد شده به یک نقطه برابر مجموع جریان‌های خارج شده از آن می‌باشد).		شارمغناطیسی
 در اینجا تصویر سه سیم‌پیچ مُدور (چنبره‌ای) دیده می‌شود. سیم‌پیچهای چنبره‌ای از نظر اندازه و تعداد دور سیم‌پیچ‌ها با		

یکدیگر تفاوت دارند و در داخل این سیم‌پیچ‌های چنبره‌ای میدانهای تقریباً همگنی بوجود می‌آید.	
میدان مغناطیسی و میزان B آن به‌جریان I بستگی دارد: چگالی شار B با جریان I که توسط آن چگالی شار تولید می‌شود، متناسب است.	چگالی شار
در این سه سیم‌پیچ چنبره‌ای a، b و c اندازهٔ یکسانی داشته و به تعداد دور سیم‌پیچ N، محیط متوسط سیم‌پیچ $\bar{l}$ (طول متوسط سیم‌پیچ $\bar{l}$) بستگی دارد. در مورد طول متوسط سیم‌پیچ $\bar{l}$ صدق می‌کند: $\bar{l} = \frac{li + la}{2}$ خارج قسمت تعداد دور سیم‌پیچ N به‌طول متوسط سیم‌پیچ $\bar{l}$ برابر با چگالی پیچک است.	چگالی شار
 در صورت ثابت بودن جریان سیم‌پیچ، چگالی شار B به بستگی دارد. برابر با خارج قسمت تعداد دور سیم‌پیچ N به‌طول سیم‌پیچ $\bar{l}$ است.	چگالی پیچک چگالی پیچک



در شکل بالا تصویر سه پیچک نشان داده می‌شود که از نظر اندازه و تعداد دور سیم‌پیچ با یکدیگر تفاوت دارند.

در صورت ثابت بودن جریان سیم‌پیچ، چگالی شار متوسط $\overline{B}$ مربوط به بین داخل و خارج سیم‌پیچ برابر خارج قسمت تعداد دور سیم‌پیچ N به‌طول متوسط سیم‌پیچ $\overline{l}$ می‌باشد و چنین خارج قسمتی را می‌توان چگالی پیچک نیز نامید.

بنابراین صدق می‌کند:

$$\overline{B} \sim IN/\overline{l}$$

در اینجا B ، N و $\overline{l}$ است.

چگالی شار متوسط-
تعداد دور سیم‌پیچ -
طول متوسط سیم‌پیچ

به‌طور کلی متوسط مکان میدان بر چگالی شار B اثر می‌گذارد.

به‌طور مثال اگر آهن متوسط که میزان چگالی شار بالائی دارد در مکان میدان وجود داشته باشد در آن صورت میدان مغناطیسی شدیدتر می‌شود تا اینکه فقط در فضای میدان هوا وجود داشته باشد.

این تأثیر متوسط روی میدان مغناطیسی توسط عاملی

مشخص می‌شود که آنرا «نفوذپذیری مغناطیسی» یا «پرمابلیته» می‌نامند و با علامت μ آنرا نشان می‌دهند. نفوذپذیری مغناطیسی μ را تراوائی نیز می‌نامند.	
در مورد چگالی شار $\overline{B}$ معتبر است: $\overline{B} \sim \mu IN/\overline{l}$ در اینجا μ علامت ... یا ... می‌باشد. بنابراین ... μ چگالی شار $\overline{B}$ تأثیر می‌گذارد.	نفوذپذیری مغناطیسی ـ پرمابلیته پرمابلیته
در مورد نفوذپذیری مغناطیسی μ صدق می‌کند: $\mu = \mu_r \cdot \mu_0$ در اینجا μ_0 علامت پرمابلیتهٔ هوا می‌باشد. همچنین μ_0 را تراوائی فضایی آزاد یا تراوائی خلاء نیز می‌نامند. μ_0 برابر است با $0/4\pi.10^{-3}Wb/A_m$ μ_r علامت پرمابلیتهٔ نسبی است که آنرا تراوائی نسبی نیز می‌نامند. μ_r در مورد هوا یک پرمابلیتهٔ ثابت است که تقریباً برابر یک می‌باشد. همچنین ... μ_r یک عدد بدون بُعد بوده که رابطهٔ پرمابلیتهٔ یک مادهٔ مشخصی را با پرمابلیتهٔ هوا بیان می‌دارد.	پرمابلیته هوا پرمابلیته نسبی پرمابلیتهٔ نسبی
حاصلضرب تعداد دور سیم‌پیچ N و شدت جریان I را نیروی محرکهٔ مغناطیسی MMF(U) می‌نامند که در سیستم SI برحسب آمپر بیان می‌گردد. بنابراین چگالی شار B به ... μ، طول سیم‌پیچ $\overline{l}$ و نیروی محرکهٔ مغناطیسی $U = NI$ بستگی دارد.	پرمابلیتهٔ

خارج قسمت نیروی محرکهٔ مغناطیسی به‌طول سیم‌پیچ $\bar{l}$ را شدت میدان مغناطیسی H می‌نامند.

بنابراین صدق می‌کند:

$\bar{H} = IN/\bar{l}$

شدت میدان

شدت میدان

H مغناطیسی نامیده می‌شود.

مغناطیسی $\vec{H}$ نیز نیز مانند چگالی شار مغناطیسی $\vec{B}$ یک بُردار می‌باشد.

نیروی محرکهٔ

مغناطیسی -

طول متوسط

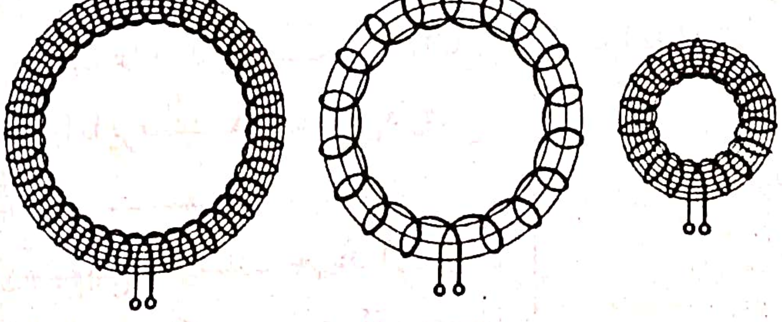
سیم‌پیچ

NI برابر با و $\bar{l}$ با برابر است.

در نتیجه در مورد چگالی شار رابطهٔ زیر را می‌توان تعمیم داد:

$B = \mu H$

بنابراین چگالی شار با حاصلضرب پرمابلیته و شدت میدان برابر می‌شود.



اگر از این سیم‌پیچها جریانی عبور کند در آن صورت میدانهای مغناطیسی تحریک می‌شوند در مورد تحریک یک میدان مغناطیسی در یک نقطهٔ زمانی مشخص حاصضرب NI با

توجه به تعداد دور سیم‌پیچ و جریان معتبری باشد. به‌عبارتی اگر جریانها کم و تعداد دور سیم‌پیچ‌ها زیاد باشد میدان مغناطیسی را در همان حدّی می‌توان تحریک کرد که اگر جریانها زیاد و تعداد دور سیم‌پیچها کم باشد.

بنابراین در مورد یک میدان مغناطیسی در یک نقطهٔ زمانی مشخص نیروی محرکهٔ مغناطیسی معین می‌باشد.

تحریک

«واحدهای کمیتهای میدان مغناطیسی»

یکی از واحدهایی که ما در اینجا مطابق سیستم SI از آن استفاده می‌کنیم، شدت میدان مغناطیسی H است که برحسب آمپرمتر A/m بیان می‌گردد.

البته عملاً استفاده از واحد بزرگتر A/cm ترجیح داده می‌شود زیرا در موارد مربوط به شدت میدان از نظر مقدار عددی نتیجهٔ کاربُرد بهتری دارد.

امروزه واحد القاء مغناطیسی B از نظر توصیفی به‌صورت تأثیر نیرو روی هادی که از آن جریان عبور می‌کند یا تأثیر القاء بیان می‌شود و برحسب Vs/m^2 محاسبه می‌گردد. این واحد در سیستم SI نام مخصوصی به خود دارد که آنرا تسلا (T) می‌نامند و در کنار آن از واحد کوچکتری نیز به نام گوس (G) استفاده می‌شود. (هر تسلا برابر 10^4 گوس است). کلیهٔ این واحدها را می‌توان در رابطه‌ای به‌صورت زنجیره‌ای چنین نوشت:

$$1T = 1Vs/m^2 = 1Wb/m^2 = 10^{-4}\ Vs/cm^2 = 10^4G \quad (1)$$
$$= 1N/Am$$

همراه با واحدهای دو بردار مغناطیسی (بردار مغناطیسی B و بردار شدت میدان مغناطیسی H) می‌توان اندازه و واحد نفوذپذیری مغناطیسی یا پرمابلیته μ را که با این دو بردار مغناطیسی ارتباط دارند بیان کرد. بنابراین طبق معمول پرمابلینه μ می‌تواند به دو عامل منشعب شود:

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0$$

در حالی‌که در مورد مقادیر بردارها می‌توان به صورت زیر نوشت:

$B = \mu_r \mu_o H$

پرمابلیتهٔ نسبی μ_r به‌عنوان یک عامل عددی محض محسوب می‌شود و رابطهٔ پرمابلیته یک مادهٔ مشخص (هوا، آهن وغیره) را با پرمابلیتهٔ خلاء بیان می‌کند. در مورد هوا به طور مثال $\mu r = 1{,}0000004$ می‌شود به‌طوری که می‌توان در مورد میدانها در هوا عملاً μ_r را برابر یک قرار داد.

این ثابت میدان مغناطیسی μ_o را پرمابلیتهٔ هوا نیز می‌نامندکه‌واحد آن باتوجه به رابطهٔ شمارهٔ ۳ به‌صورت $Tm/A = Vs/Am = H/m$ بیان می‌شود و واحد هانری (H) نیز در این رابطه بدین صورت قابل توصیف می‌باشد.

$1H = 1Vs/A$

بنابراین در سیستم SI در مورد میزان اندازه‌گیری پرمابلیتهٔ هوا μ_o به صورت زیر معتبر است :

$\mu_o = 4\pi \, . \, 10^{-9} H/cm$

در صورتی‌که پرمابلیتهٔ نسبی به‌عنوان یک عدد نسبی بدون بعد تفاوت مشخصهٔ مغناطیسی هر مادهٔ موجود را در مقابل خلاء بیان کند، ثابت میدان مغناطیسی μ_o را می‌توان به عنوان یک ثابت طبیعی در نظر گرفت.

۱ ـ واحد شدت میدان مغناطیسی را نام ببرید؟ | A/m (A/cm)

۲ ـ واحد القاء مغناطیسی را نام ببرید؟ | Vs/m^2, T, G

۳ ـ هر تسلا برابر چند گوس است؟ | 10^4

۴ ـ آیا واحد القاء مغناطیسی ۱ تسلا می‌تواند به رابطه‌ای تبدیل شود که در آن تأثیر نیرو روی یک هادی را که از آن جریان عبور می‌کند، بیان کنند؟ | $1T = 1N/Am$

۵ ـ پرمابلیته یا نفوذپذیری مغناطیسی به کدام عوامل قابل تبدیل هستند؟ | به μ_r = پرمابلیتهٔ

۶ـ پرمابلیتهٔ نسبی μ_r به‌عنوان یک عامل عددی بیانگر چه رابطه‌ای است؟

۷ـ میزان پرمابلیته در هوا چقدر است؟

۸ـ واحد ثابت میدان مغناطیسی μ_0 را نام ببرید؟

نسبی و μ_0= پرمابلیتهٔ هوا

رابطهٔ پرمابلیتهٔ یک مادهٔ مشخصی را با پرمابلیتهٔ خلاء بیان می‌کند.

$\mu_r = 1/0000004$

H/m

در مورد پرمابلیته μ معتبر است:

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

نفوذپذیری مغناطیسی μ برابر با حاصلضرب μ_0 .... در پرمابلیتهٔ .... μ_r می‌شود.

از آنجائیکه در مورد هوا، مواد پارامغناطیس و دیا مغناطیس $\mu \approx 1$ می‌شود، بنابراین در مورد μ صدق می‌کند:

$$\mu = \mu_0$$

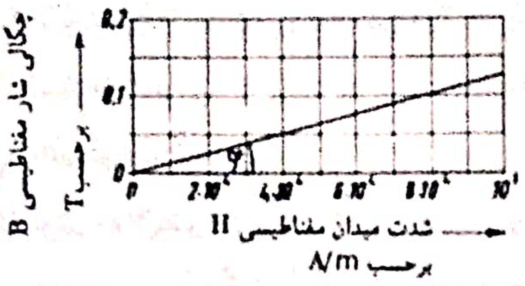
چون $B = \mu_0 \mu_r H$ است بنابراین در مورد چگالی شار مغناطیسی B معتبر است:

$$B = \mu_0 \cdot H$$

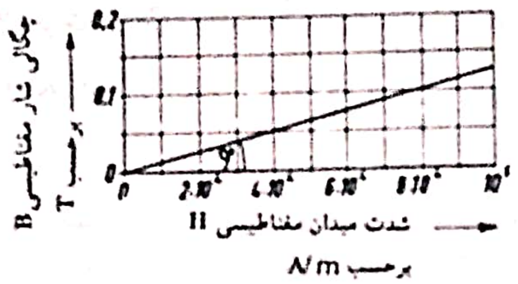
این بدین معنا است که در موارد ذکر شده چگالی شار مغناطیسی B فقط به شدت میدان مغناطیسی H بستگی دارد.

پرمابلیتهٔ هوا ـ نسبی

اگر این وابستگی را به‌صورت یک نمودار ترسیمی نشان دهیم در آن صورت خط مستقیمی بدست می‌آید که از نقطهٔ صفر شروع می‌شود.



این منحنی را منحنی مغناطیس شوندگی می‌نامند.



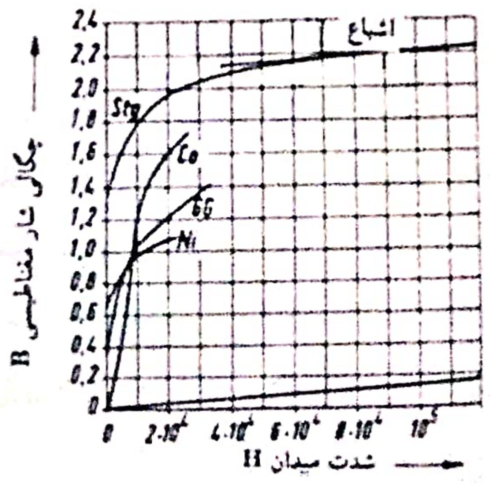
شکل بالا یک نمودار ترسیمی از وابستگی B .... را به H .... در مورد خلاء، هوا، مواد پارا مغناطیس و مواد دیا مغناطیس نشان می‌دهد. در اینجا میزان پرمابلیته‌های آن فقط کمی از یک انحراف دارد.

این منحنی را یک .... می‌نامند.

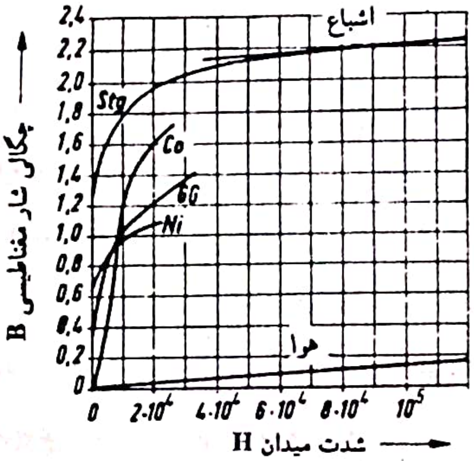
در این حالت منحنی مغناطیس شوندگی به صورت خط مستقیمی ترسیم می‌شود که از نقطهٔ صفر شروع شده است.

چگالی شار مغناطیسی - شدت میدان مغناطیسی

منحنی مغناطیس شوندگی

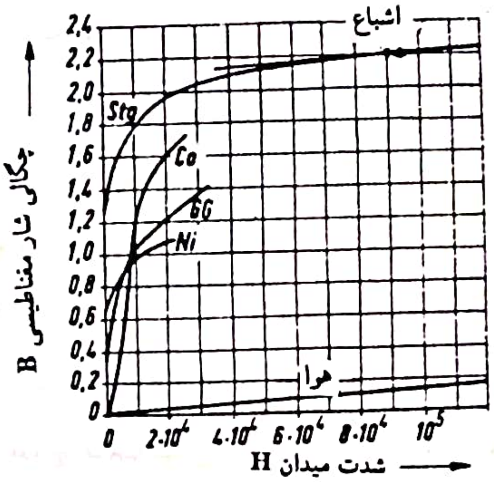


منحنی‌های مغناطیس شوندگی	در اینجا کبالت (Co)، چدن خاکستری (GG)، نیکل، (Ni) وفولاد ریخته‌گری (Stg) نشان‌داده‌می‌شوند. در اینجا منحنی‌های مغناطیس‌شوندگی کبالت (Co)، چدن خاکستری (GG) و نیکل (Ni) و فولاد ریخته‌گری (Stg) در آغاز به‌طور عمده شیب بیشتری دارند تا منحنی مغناطیس شوندگی هوا. به‌عبارتی دیگر آنکه پرمابلیتهٔ نسبی این مواد به طور عمده بیشتر از یک است. موادی مانند کبالت (Co)، نیکل (Ni)، چدن خاکستری و فولاد ریخته‌گری جزو مواد فرو مغناطیس به شمار می‌روند.



فرومغناطیس	در کنار منحنی مغناطیس شوندگی هوا روی این دیاگرام منحنی‌های مغناطیس‌شوندگی چند مادهٔ مانند نیکل (Ni)، کبالت (Co)، فولاد ریخته‌گری و چدن خاکستری دیده می‌شود. منحنی‌های مذکور در آغاز دارای شیب می‌باشند و تقریباً به‌صورت خط مستقیمی جریان دارند در حالی‌که در صورت افزایش شدت میدان شیب آنها کمتر می‌گردد.

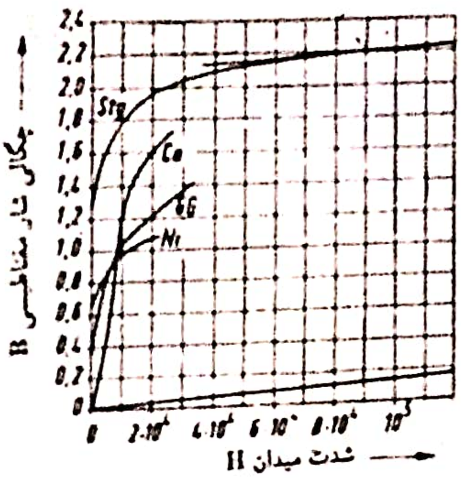
اگر به منحنی مغناطیس شوندگی فولاد ریخته‌گری توجه شود در آن صورت می‌توان پی‌برد که منحنی مذکور بعد از رسیدن شدت میدان به میزان تقریبی 8.10^4A/m بصورت خطی موازی با منحنی مغناطیس شوندگی هوا جریان دارد. نقطه‌ای که از آنجا منحنی مغناطیس شوندگی به طور موازی با منحنی مغناطیس شوندگی هوا جریان خود را آغاز می‌کند «نقطهٔ اشباع» نامیده می‌شود.



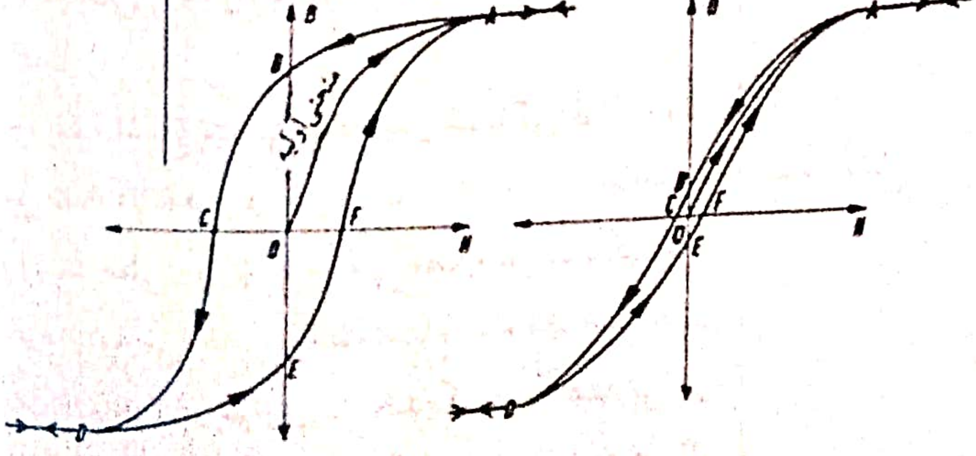
شکل بالا تصویر منحنی‌های مغناطیس شوندگی مواد فرو مغناطیس مشخصی را همراه با منحنی مغناطیس شوندگی هوا نشان می‌دهد.

در اینجا نقطهٔ اشباع منحنی مغناطیس شوندگی فولاد روی عدد تقریبی 8.10^4A/m قرار دارد و از آن منحنی مذکور بصورت خطی موازی با منحنی مغناطیس‌شوندگی هوا به‌جریان خود ادامه می‌دهد. در نقطهٔ اشباع تمام مغناطیس‌های کوچک اتمی هم‌جهت و موازی با یکدیگرند به عبارتی در صورت ادامهٔ افزایش شدت میدان، چگالی شار فقط به همان

میزان ناچیزی افزایش می‌یابد که در منحنی مغناطیس شوندگی هوا مشاهده می‌شود. همچنین منحنی مغناطیس شوندگی یک مادهٔ فرومغناطیس نشان می‌دهد که پر مابلیتهٔ نسبی μ_r ثابت نیست.

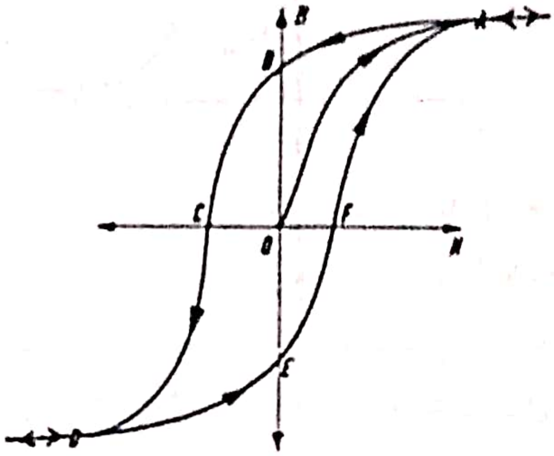


در این شکل منحنی‌های مغناطیس شوندگی چند مادهٔ فرومغناطیس دیده می‌شود. مواد مذکور فقط در صورتی به فُرم حالت بالا در می‌آیند که مادهٔ فرومغناطیس هنوز مغناطیس نشده باشد و با افزایش تدریجی شدت میدان‌ها مغناطیس شود اما اگر قبلاً یکبار مغناطیس شده باشد در آن صورت براساس نوع ماده، منحنی بصورت حلقه در می‌آید:

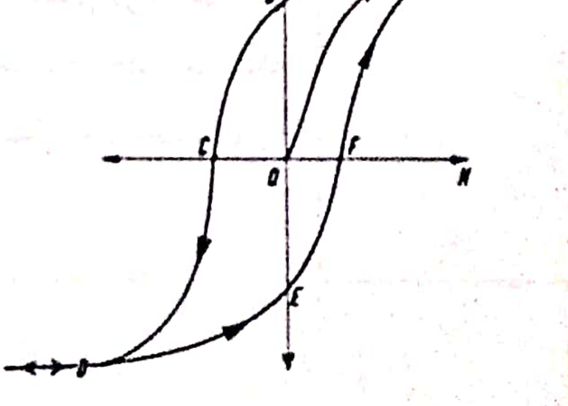


چنین حلقه‌ای را یک «حلقهٔ هیسترزیس» می‌نامند.

در نمودار سمت چپ منحنی مغناطیس شوندگی آهن فرومغناطیس سخت و در نمودار سمت راست منحنی مغناطیس شوندگی آهن فرومغناطیس نرم دیده می‌شود.



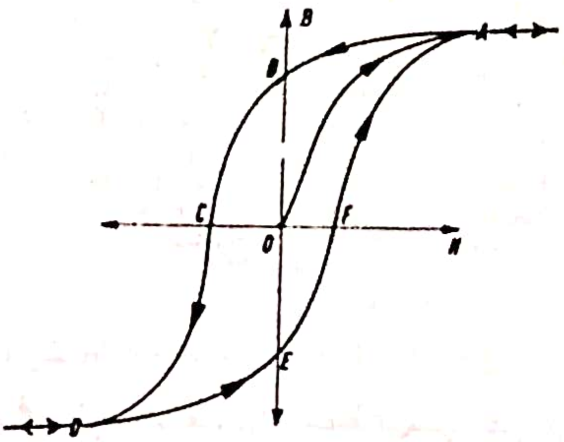
در شکل فوق تصویر یک حلقهٔ هیسترزیس آهن فرو مغناطیس سخت نشان داده می‌شود. در اینجا منحنی OA یک منحنی مغناطیس شوندگی می‌باشد و در صورتی تشکیل می‌شود که آهنی که هنوز مغناطیس نشده است، با افزایش تدریجی شدت میدانها خاصیت مغناطیسی پیدا کند. منحنی OA منحنی اولیه نامیده می‌شود و در اینجا نقطه A را نیز «نقطهٔ اشباع» می‌نامند.	حلقهٔ هیسترزیس



حلقهٔ هیسترزیس

شکل فوق تصویر یک آهن فرومغناطیس سخت را نشان می‌دهد.

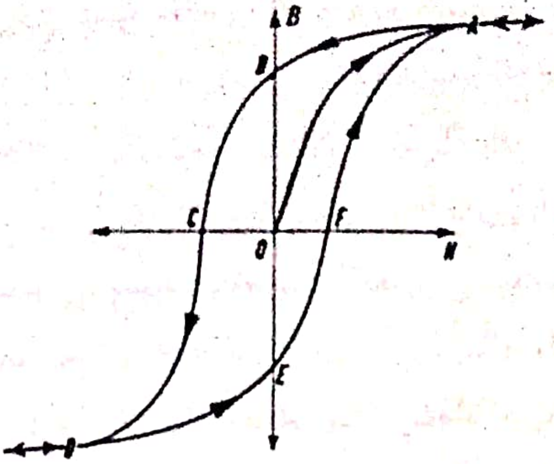
منحنی OA یک منحنی مغناطیس شوندگی است و این منحنی در صورتی تشکیل می‌شود که آهنی که قبلاً مغناطیس نشده است، با افزایش تدریجی شدت میدانها خاصیت مغناطیسی پیدا کند.



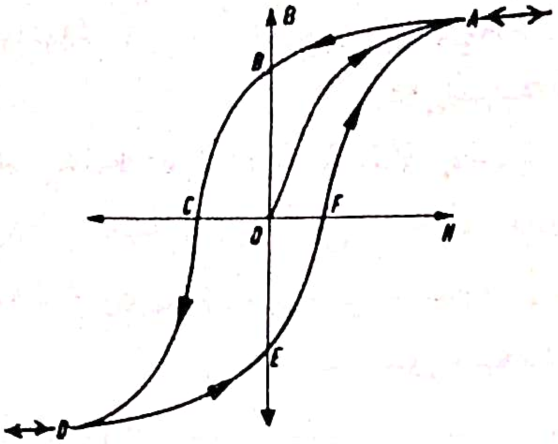
نقطهٔ اشباع

اگر آهنی که قبلاً مغناطیس نشده باشد توسط جریان تحریک که به تدریج افزایش می‌یابد، خاصیت مغناطیسی پیدا کند در آن صورت منحنی مغناطیس شوندگی آن پس از مدتی به A می‌رسد. حال اگر پس از آن میزان شدت میدان را تا H = O کاهش دهیم و آنرا منفی کنیم در آن صورت منحنی ABCD تشکیل می‌شود.

اما اگر شدت میدان را تا H = O تقلیل دهیم در آن صورت نه‌تنها میزان چگالی شار مغناطیسی B صفر نخواهد شد بلکه به‌صورت $\overline{BO}$ در می‌آید. این میزان را «پسماند مغناطیسی» یا «میدان باقی‌مانده» می‌نامند.



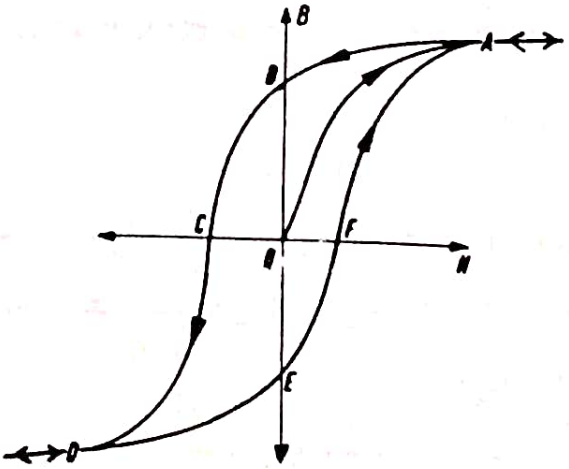
شکل فوق تصویر یک .... آهن فرومغناطیس سخت را نشان می‌دهد.	حلقهٔ هیسترزیس
در صورت کاهش شدت میدان تا میزان H = O پس از رسیدن به نقطهٔ اشباع میزان چگالی شار مغناطیسی به همان اندازه‌ای که از شدت میدان کاسته شده است، کاهش نمی‌یابد و در آن صورت چگالی شار در حالت H = O بصورت $\overline{OB}$ در می‌آید. این میزان باقی‌ماندهٔ چگالی شار مغناطیسی را .... می‌نامند.	پسماند مغناطیسی
بنابراین .... نشان‌دهندهٔ میزان مغناطیس باقی‌مانده بوده و به عبارتی هم‌جهت بودن گشتاور مغناطیس‌های کوچک اتمی را نشان می‌دهد.	پسماند مغناطیسی



اگر پس از رسیدن به میزان H = O شدت میدان را در جهت معکوس دوباره افزایش دهیم در آن صورت میزان چگالی شار دوباره کاهش می‌یابد تا زمانی که در نقطهٔ C برابر صفر می‌شود. میزان شدت میدان مربوطه را «نیروی خنثی‌کننده» یا «نیروی وادارنده» می‌نامند که روی منحنی بصورت $\overline{OC}$ نشان داده می‌شود.

پسماند مغناطیسی

در واقع میزان چگالی شاری است که پس از کاهش شدت میدان تا صفر روی نقطهٔ B میزان می‌شود که البته این چگالی شار مغناطیسی بدون نیروی محرکهٔ مغناطیسی موجود می‌باشد.

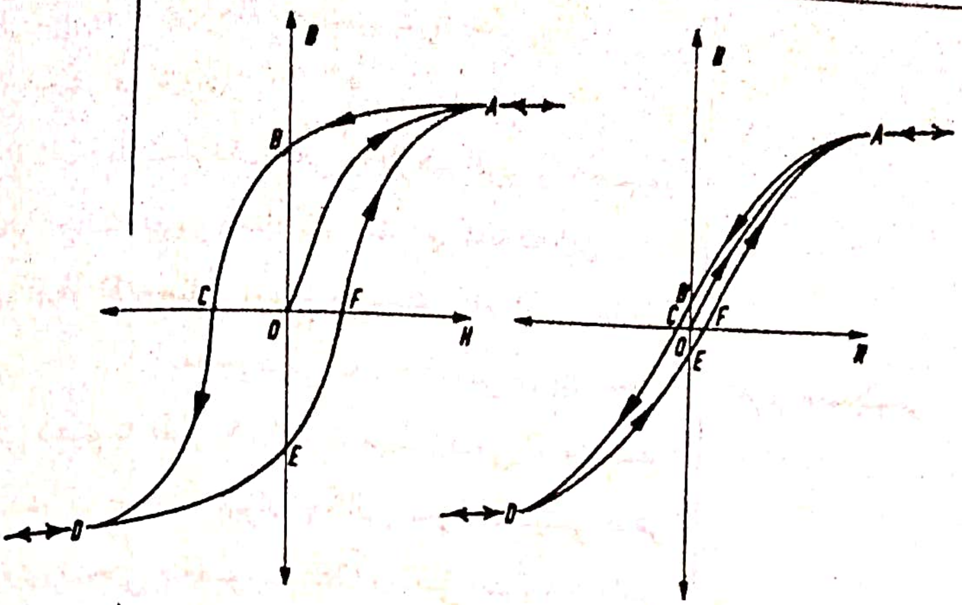


در تصویر مربوط به این حلقهٔ هیستروزیس، چگالی شار روی نقطهٔ C برابر با صفر می‌شود.

حال اگر میزان شدت میدان منفی را بازهم افزایش دهیم در آن‌صورت آهن حالت تغییر مغناطیس پیدا می‌کند که این تغییر مغناطیسی در نقطهٔ D به‌حالت اشباع می‌رسد. بنابرٍ این در ناحیهٔ CD حالت تغییر مغناطیسی به‌وجود می‌آید. حال اگر جریان تحریک منفی را کاهش دهیم به طوریکه شدت میدان منفی تا حد صفر تنزل پیداکند، در آن صورت میزان چگالی شار مغناطیسی صفر نمی‌شود و روی منحنی به‌صورت $\overline{O}E$ در می‌آید که در این صورت یک پسماند مغناطیسی منفی تشکیل می‌گردد. این پسماند مغناطیسی که در ابتدا روی نقطهٔ F برابر صفر است اکنون می‌تواند با افزایش میزان شدت میدان یک تغییر مغناطیسی جدیدی را بوجود بیاورد.

در مورد آهنی که قبلاً مغناطیس شده است میزان چگالی شار در صورت تغییر شدت میدان به همان میزانی نمی‌رسد که آهن هنوز مغناطیس نشده است.

این پدیده را «پدیدهٔ هیسترزیس» می‌نامند که بصورت بسته ABCDEFA در تصویر نشان داده می‌شود.



در اینجا دو حلقهٔ هیسترزیس آهن مغناطیسی سخت و آهن مغناطیسی نرم نشان داده می‌شود.

از آنجائیکه میزان نیروی خنثی‌کننده و پسماندمغناطیسی در آهن مغناطیسی سخت بیشتر از آهن مغناطیسی نرم می‌باشد، بنابراین در صورت تغییر مغناطیسی در آهن مغناطیسی سخت باید جریانهای تحریک بیشتری اعمال گردد.

البته میزان تلفات نیز در صورت تغییر مغناطیسی در آهن مغناطیسی سخت به همان نسبت بیشتر می‌گردد.

این چنین تلفاتی را «تلفات هیسترزیس» می‌نامند که به حرارت بستگی دارد.

در آهن نرم میزان تلفات هیسترزیس کم است زیرا میزان و آن بطور نسبی ناچیز می‌باشد.

بنابراین اگر آهن بطور متوالی تغییر مغناطیسی پیدا کند بطور مثال توسط جریان متناوب در آن صورت از آهن نرم به‌خاطر کمی که دارد، استفاده می‌شود در حالی‌که

پسماند مغناطیسی -
نیروی خنثی‌کننده
تلفات هیسترزیس

برعکس از آهن سخت به‌خاطر بالا بودن میزان و آن در آهنرباهای دائم استفاده می‌گردد.	پسماند مغناطیسی نیروی خنثی‌کننده

«پدیدهٔ هیسترزیس»

منحنی‌های مغناطیس شوندگی بصورت فرمی‌که در شکل ۲ نشان داده شده است فقط در صورتی تشکیل می‌شوند که مواد از حالت غیرفرومغناطیس خارج شده و با افزایش تدریجی شدت میدان خاصیت مغناطیسی پیدا می‌کنند. منحنی OA در شکل 1a که آنرا می‌نماید با یک منحنی مغناطیس شوندگی در شکل ۲ مطابقت می‌کند و منحنی مغناطیس شوندگی نیز با نقطه A مطابقت دارد. حال اگر جریان تحریک را ضعیف کنیم در آن صورت مقادیر القای مغناطیسی که با میزان شدت میدان کاسته شده متناسب است بیشتر از مقادیر القای منحنی اولیه‌ای می‌شود که با میزان همان شدت میدان متناسب می‌باشد. در حالتی که شدت میدان H برابر صفر است چگالی شار $\overline{OB}$ هنوز وجود دارد که این میزان در واقع همان میزان مغناطیس باقی‌مانده بوده و نامیده می‌شود. پسماند مغناطیسی در ابتدا در صورت اعمال شدت میدان منفی $\overline{OC}$ یا به عبارتی از بین می‌رود و در صورت ادامهٔ کاهش شدت میدان، القای مغناطیس دارای میزان منفی می‌شود که با منحنی CD مطابقت دارد. حال اگر میزان شدت میدان را دوباره کاهش دهیم در آن صورت مقادیر چگالی شار بصورتی درمی‌آیند که در منحنی DEFA نشان داده می‌شود.

مطابق تصویر منحنی بستهٔ ABCDEFA نامیده می‌شود.

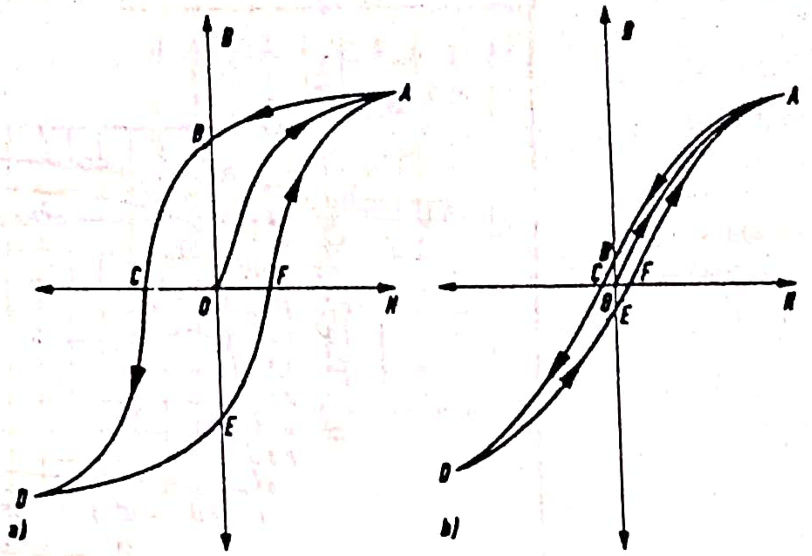
فرومغناطیس

منحنی اولیه - نقطهٔ اشباع

پسماندمغناطیسی

نیروی خنثی‌کننده

حلقهٔ هیسترزیس



شکل ۱: حلقهٔ هیسترزیس (a) مربوط به آهن مغناطیسی سخت و
حلقهٔ هیسترزیس (b) مربوط به آهن مغناطیسی نرم است.

در اینجا یک نکتهٔ دیگر قابل ذکر اینست که سطح حلقهٔ هیسترزیس با میزان کاری متناسب است که در هنگام آهن در یک میدان متغیر در صورت حرکت مغناطیس‌های مولکولی در مقابل نیروی اصطحکاک داخلی بوجود می‌آید و بصورت حرارت تغییر شکل پیدا می‌کند. در آهن نرم مانند شکل 1b میزان پسماند مغناطیسی و نیروی خنثی‌کننده کم بوده و حلقهٔ هیسترزیس باریک و بلندی دارد و به همین جهت نیز میزان در آهن نرم ناچیز است. بنابراین در ماشینهای الکتریکی که بطور مثال در آنها آهن تحت تغییر مغناطیسی دائمی توسط جریان متناوب قرار می‌گیرد، از آهن نرم استفاده می‌شود در حالیکه برعکس انواع آهنی که میزان و آنها زیاد است و منحنی

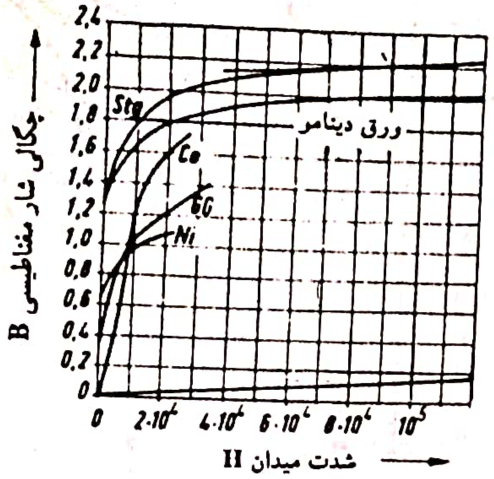
تغییرمغناطیسی

تلفات‌هیسترزیس

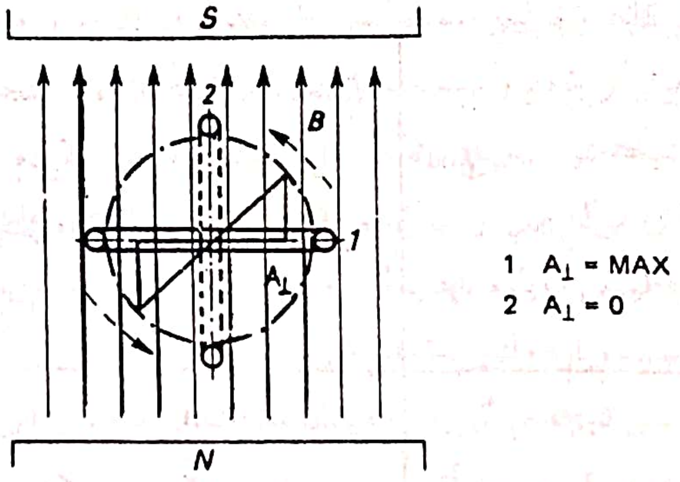
پسماندمغناطیسی

نیروی خنثی‌کننده

هیسترزیس پهن دارند در آهن‌رباهای دائم بکار می‌روند.



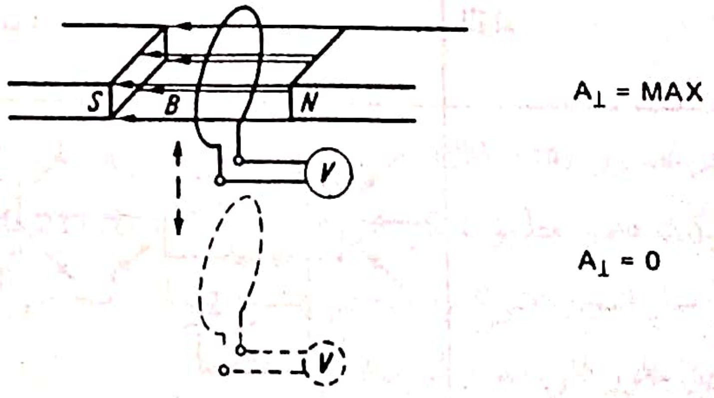
شکل ۲



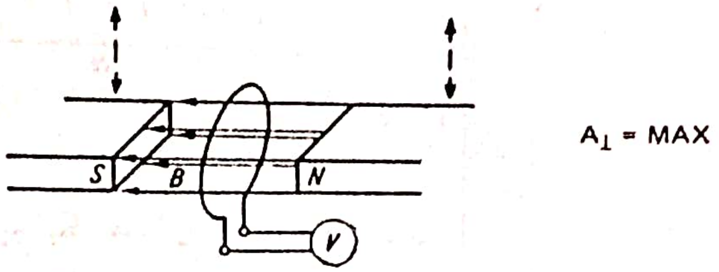
این شکل تصویر سیم‌پیچ یک هادی را در یک میدان مغناطیسی نشان می‌دهد. در اینجا اگر سیم‌پیچ هادی را از حالت 1 به حالت 2 ببریم در آن صورت در هنگام این حرکت ولتاژ در هادی تولیدی می‌شود. به عبارتی دیگر می‌توان گفت که در هادی ولتاژ القاء شده است. بنابراین اگر یک هادی را در یک میدان مغناطیسی در جهتی حرکت دهیم که موازی با خطوط میدان نباشد، در آن صورت در هادی ولتاژ .... می‌شود و در صورتی که هادی را ساکن نگه‌داریم، ولتاژی .... نمی‌گردد.

القاء

القاء



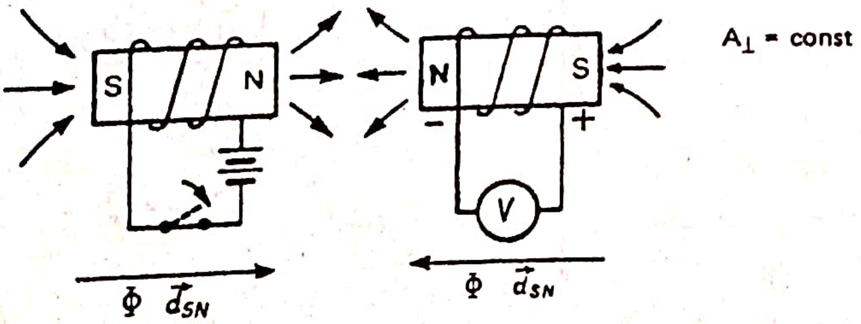
	شکل بالا تصویر یک سیم‌پیچ هادی را در یک میدان مغناطیسی نشان می‌دهد. در اینجا اگر هادی را موازی با خطوط میدان حرکت ندهیم، در آن صورت در هادی ولتاژ .... می‌گردد که این پدیده را «اندوکسیون» یا «القا» می‌نامند و ولتاژ مذکور نیز «ولتاژ القائی» یا «ولتاژ القا شده» نامیده می‌شود.
القاء	



در شکل فوق تصویر یک سیم‌پیچ هادی در یک میدان مغناطیسی نشان داده می‌شود. در اینجا اگر قطبهای آهن‌ربا را در جهت نشان داده شده حرکت دهیم در آن صورت شار مغناطیسی Φ سبب یک تغییر زمانی می‌شود بطوریکه توسط شار سطح متغیّری بوجود می‌آید و بدین ترتیب در سیم‌پیچ ولتاژ القاء می‌گردد.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در صورت تغییر زمانی شار مغناطیسی ولتاژ .... می‌شود.

القاء



در اینجا تصویر دو سیم‌پیچ (سیملوله) دیده می‌شود.

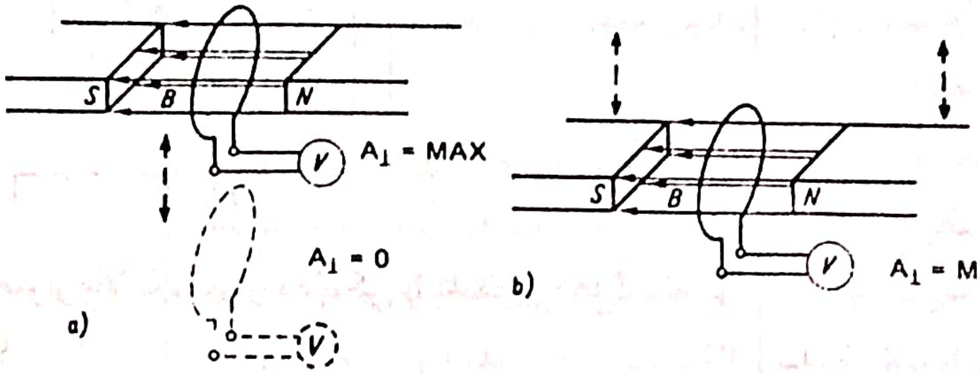
اگر کلید سیم‌پیچ سمت چپ را ببندیم در آن صورت جریان برقرار می‌شود و سبب ایجاد یک میدان مغناطیسی می‌گردد که درنتیجه در سیم‌پیچ سمت راست نیز ولتاژ   می‌شود. اما در صورتی‌که پس از آن کلید را باز کنیم در آن صورت میدان مغناطیسی دوباره ناپدید گشته و بدین ترتیب در سیم‌پیچ سمت راست دوباره ولتاژ القاء می‌شود.

القاء

پس نتیجه می‌گیریم که میدان مغناطیسی متغیر زمانی در یک هادی ساکن سبب تأثیر   می‌شود.

ولتاژ القائی

بنابراین اگر هادی دریک میدان مغناطیسی ثابت زمانی حرکت کند و یا اینکه یک میدان مغناطیسی ثابت زمانی در اطراف آن حرکت داده شود در هر دو صورت هادی ولتاژ القاء می‌شود.



در تصاویر (a) و (b) در یک میدان مغناطیسی ثابت زمانی یا با حرکت هادی مطابق شکل a و یا با حرکت میدان مانند شکل b تغییر شار ایجاد می‌شود که در نتیجه ولتاژ القاء می‌گردد.

بنابراین بطور کلی صدق می‌کند:

$$\Phi = BA_{\perp}$$

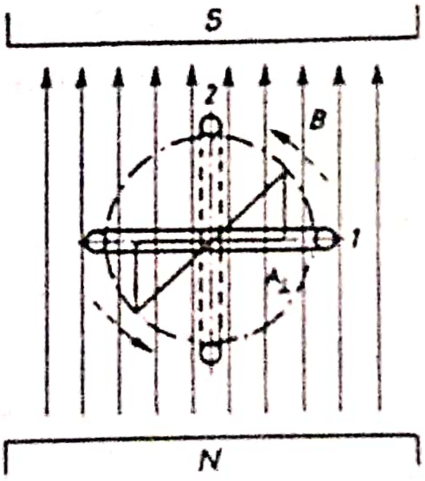
در حالت (a) در مورد تغییر شار به علت تغییر سطح معتبر است:

$\Phi = B\Delta A_1$

و در حالت (b) در مورد تغییر شار به علت تغییر مکانی چگالی شار مغناطیسی صدق می‌کند:

$\Phi = A_1 \Delta B$

بنابراین در هر دو حالت یک تغییر مکانیکی ایجاد می‌شود که توسط یک حرکت خطی بوجود آمده است بطوریکه می‌توان گفت در این حالت یک تغییر موازی وجود دارد.



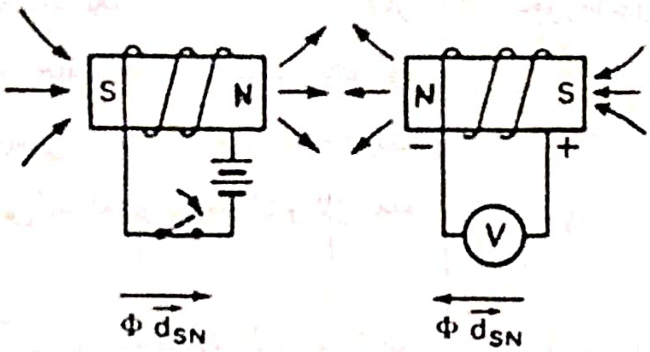
آیا تصویر بالا یک تغییر مکانیکی را نشان می‌دهد؟ بله یا خیر؟

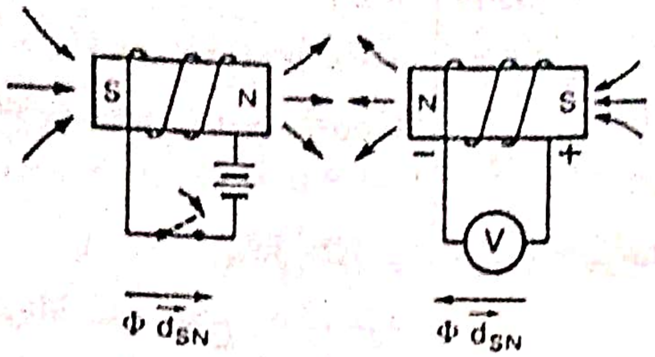
در اینجا تغییر شار توسط یک تغییر .... بوجود می‌آید که البته این تغییر یک تغییر .... نیست زیرا این تغییر توسط حرکت مستقیم‌الخط بوجود نیامده است بلکه حرکتی چرخشی یا دورانی سبب تغییر مذکور شده است. به همین علت نیز این تغییر را یک تغییر چرخشی یا دورانی می‌نامند.

بله

مکانیکی

موازی

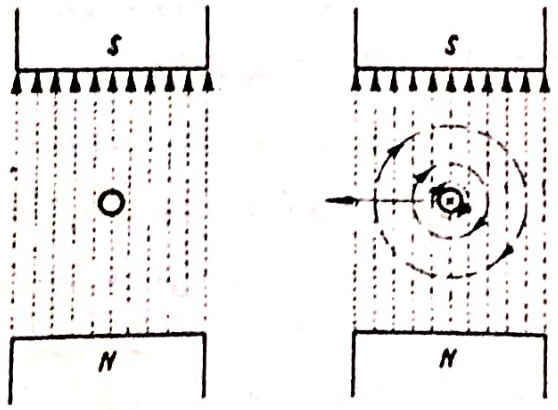
بنابراین تغییر مکانیکی می‌تواند یک تغییر ‌‌ ‌‌ ‌‌ یا یک تغییر ‌‌ ‌‌ ‌‌ باشد خواه برحسب آنکه تغییر شار به علت یک حرکت خطی باشد و خواه اینکه به علت رُتاسیون (دوران) صورت بگیرد.	موازی چرخشی
بنابراین در صورت تغییر ‌‌ ‌‌ ‌‌ یا ‌‌ ‌‌ ‌‌ چگالی شار در میدان مغناطیسی ثابت زمانی توسط تغییرسطح A_1 بوجود می‌آید.	موازی - چرخشی
 آیا تصویر بالا یک تغییر مکانیکی را نشان می‌دهد؟ بله یا خیر؟ این تغییر یک تغییر مکانیکی نیست. تغییر شار در تغییر مکانیکی توسط یک حرکت خطی (مستقیم‌الخط) و یا توسط یک حرکت چرخشی بوجود می‌آید در حالیکه در اینجا این تغییر توسط یک تغییر الکتریکی ایجاد شده است. تغییر شار در اینجا توسط یک میدان مغناطیسی متغیر زمانی بوجود آمده است که چنین حالتی را «تغییر ترانسفورماتوری» می‌نامند.	خیر



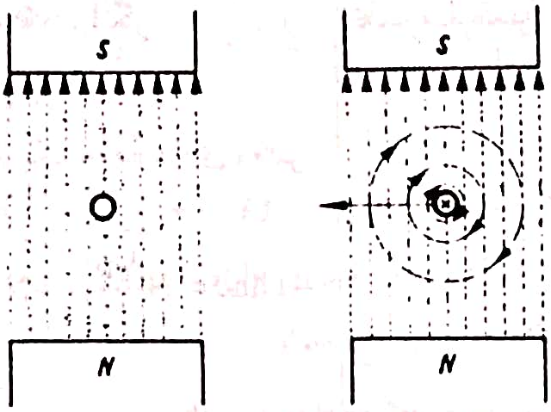
ترانسفورماتوری

در اینجا اگر میدان مغناطیسی در اطراف یک سیم‌پیچ بطور زمانی تغییر کند در آن صورت یک تغییر شار مغناطیسی ایجاد می‌شود. در این حالت تغییر ترانسفورماتوری توسط تغییر زمانی میدان مغناطیسی از طریق باز و بسته کردن کلید مدار بطور متوالی بوجود می‌آید که در نتیجه آن ولتاژ القاء می‌شود.

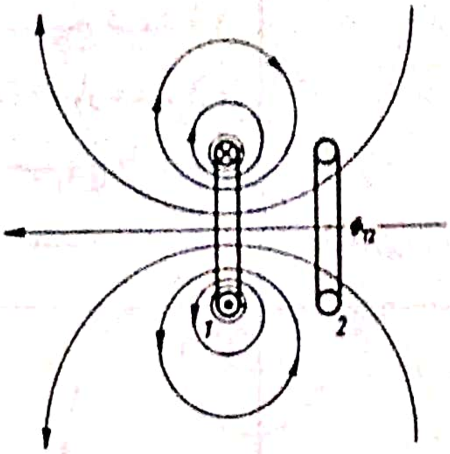
بنابراین می‌توان نتیجه گیری کرد که تولید ولتاژ در سیم‌پیچ‌های هادی می‌تواند بطور مثال توسط تغییر مکانیکی یا تغییر ترانسفورماتوری شار ایجاد گردد.



در میدان مغناطیسی این آهنربای دائم، یک هادی وجود دارد. حال اگر هادی را حرکت دهیم در آن صورت یک

تغییر بوجود می‌آید بطوریکه در هادی‌که به‌مدار حامل جریانی متصل است، جریانی القاء می‌شود که این جریان از طرف خودش میدان مغناطیسی را تحریک می‌کند و بدین ترتیب این میدان مغناطیسی نیز با حرکتی مخالفت می‌کند که این اندوکسیون را بوجود آورده است.	مکانیکی
 اگر یک هادی که به مدار بستهٔ حامل جریانی متصل است، در یک میدان مغناطیسی حرکت داده شود در آن صورت یک جریان القائی بوجود می‌آید که از طرف خودش یک میدان مغناطیسی را می‌کند. نیروئی که میدان مغناطیسی روی جریان القائی در هادی متحرک اعمال می‌کند با نیرودی مخالفت می‌کند که جریان القائی را تولید کرده است. چنین قانونی را «قانون لنز» می‌نامند و به این صورت نیز بیان می‌شود: جریانی که در یک هادی متحرک القاء شده است در جهتی قرار دارد که میدان مغناطیسی‌اش با میدان مغناطیسی جریان القائی مخالفت می‌ورزد.	تحریک
اگر در یک هادی ولتاژ القا شود در آن صورت در مورد میزان ولتاژ القاشده معتبر است:	

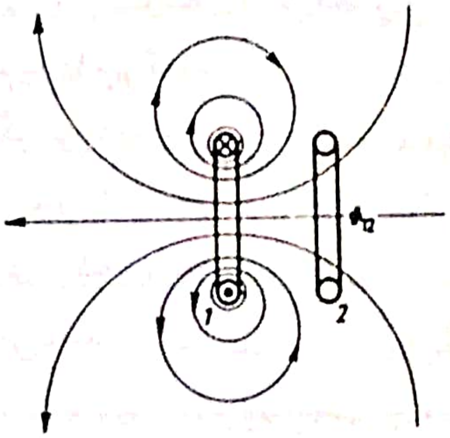
$-U_{ind} = +\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ در این رابطه $\Delta\Phi$ بیانگر تغییر چگالی شار معین و Δt علامت زمانی است که در آن تغییر مذکور بوجود می‌آید. حال اگر ولتاژی در یک سیم‌پیچ القا شود در آن صورت در مورد میزان ولتاژ القاشده صدق می‌کند: $-U_{ind} = +N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ در رابطهٔ بالا N تعداد دور سیم‌پیچها، $\Delta\Phi$ بیانگر و Δt زمانی را که در آن این تغییر بوجود می‌آید. بنابراین در مورد حرکت مستقیم‌الخط یک حلقهٔ هادی معتبر است: $-U_{ind} = N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -N.B.\ell_1\frac{\Delta s}{\Delta t} = -N.B.\ell_1.V$ بنابراین میزان ولتاژ القاء شده به B، ℓ_1 هادی در میدان همگن و سرعت V در حرکت مستقیم‌الخط بستگی دارد.	تغییر شار معین چگالی بار مغناطیسی ـ طول
اگر یک میدان مغناطیسی متغیر در یک پیچک یا سیم‌پیچ خارجی ولتاژی القاء کند در آن صورت این دو پیچک یا دو سیم‌پیچ دارای «اندوکتانس متقابل» یا «القاکنائی متقابل» می‌شود که آنرا با علامت L_M نشان می‌دهند و بر حسب هانری اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین در صورتی دو سیم‌پیچ دارای یک هانری می‌شوند که تغییر جریان یک آمپر بر ثانیه در یک سیم‌پیچ ولتاژی برابر با یک ولت را در سیم‌پیچ دیگر القاء نماید.	اندوکتانس متقابل



اگر سیم‌پیچ شماره ۱ روی سیم‌پیچ شمارهٔ ۲ تأثیر بگذارد در آن صورت این دو سیم‌پیچ دارای می‌شوند بطوریکه دو سیم‌پیچ مذکور تا حدودی از نظر مغناطیسی باهم کوپله یا تزویج می‌شوند. میزان این L_M برحسب هانری بیان می‌گردد.

اندوکتانس متقابل

اندوکتانس متقابل

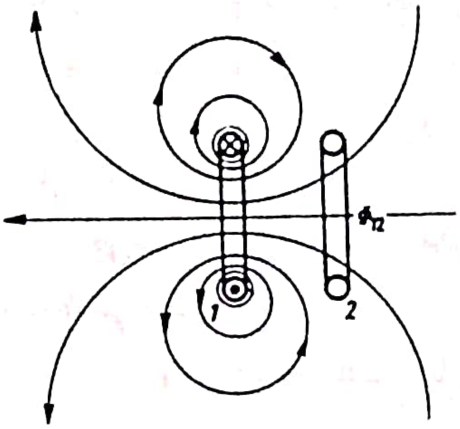


این دوسیم‌پیچ با اینکه از نظر الکتریکی نسبت به یکدیگر ایزوله بوده و باهم هیچگونه اتصال الکتریکی ندارند با این وجود تا حدودی از نظر مغناطیسی شده‌اند و توسط شار

کوپله

مشترکی به هم مربوط می‌گردند بطوریکه در سیم‌پیچ شمارهٔ ۲ فقط قسمتی از شاری وارد می‌شود که در سیم‌پیچ شمارهٔ ۱ وجود دارد که این شار را «شار متقابل» یا «شار متمرکز» می‌نامند. بنابراین می‌توان نتیجه گیری کرد که سیم‌پیچ‌ها توسط شار متقابل با یکدیگر   شده‌اند.

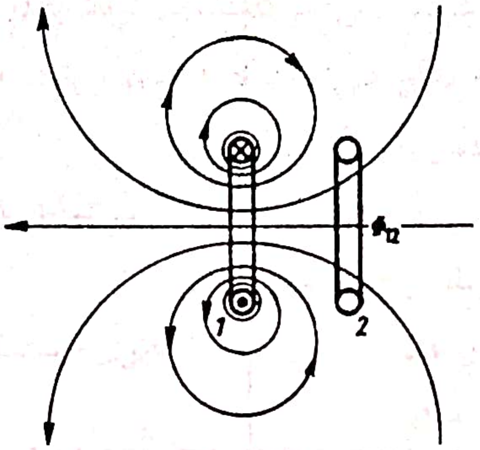
کوپله



در اینجا هر دو سیم‌پیچ توسط   با یکدیگر کوپله شده‌اند و همانطورکه در تصویر می‌بینید   توسط خطوطی نشان داده می‌شود که از هر دو سیم‌پیچها می‌گذرد به‌عبارتی دیگر شار یک سیم‌پیچ از سیم‌پیچ دیگر می‌گذرد. پس شار متقابل شاری را می‌گویند که در سیم‌پیچ شمارهٔ ۲ از نظر صنعتی قابل استفاده باشد و در نتیجه شاری را که توسط سیم‌پیچ دوم قابل استفاده نباشد، «شار نشتی» می‌نامند.

شارمتقابل

شارمتقابل



در شکل بالا هر دو سیم‌پیچها توسط .... با یکدیگر کوپله شده‌اند اما قسمتی از شار از سیم‌پیچ دوم نمی‌گذرد که آنرا .... می‌نامند. بنابراین نتیجه می‌گیریم در حالیکه .... توسط خطوطی نشان‌داده می‌شودکه از هردو سیم‌پیچها می‌گذرد. اما .... توسط خطوطی نشان داده می‌شود که فقط از سیم‌پیچ اول می‌گذرد.

بنابراین می‌توان گفت: در صورتی هر دو سیم‌پیچها دارای اندوکتانس متقابل یک هانری می‌شوند که تغییر جریان یک آمپر بر ثانیه در یک سیم‌پیچ ولتاژی برابر با یک ولت را در سیم‌پیچ دیگر القاء نماید.

شارمقابل

شارنشتی

شارمتقابل

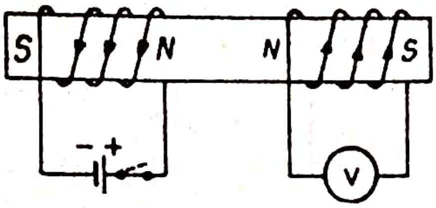
شارنشتی

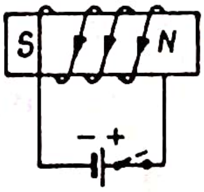
اگر بین این دو سیم‌پیچ .... وجود داشته باشد در آن صورت دو سیم‌پیچ مذکور تا حدودی با یکدیگر .... می‌شوند و در صورتی بطورکامل کوپله می‌شوند که سیم‌پیچ اول (سیم‌پیچ اولیه) و سیم‌پیچ دوم (سیم‌پیچ ثانویه)، روی یک هستهٔ مشترک پیچیده شوند یا به عبارتی دیگر توسط هستهٔ مشترکی از جنس آهن نرم به یکدیگر مربوط شوند.

اندوکتانس‌متقابل

کوپله

میزان پرمابلیته آهن بیشتر از پرمابلیته هوا بوده و میزان شار نشتی نیز جزئی می‌باشد.





القاء

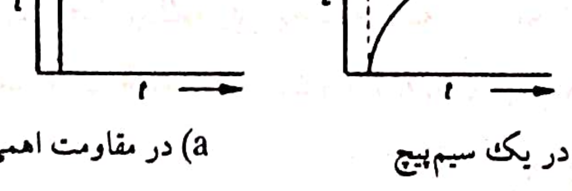
اگر از یک سیم‌پیچ ساکن جریان متغیری عبور کند در آن صورت در سیم‌پیچهای آن ولتاژ ترانسفورماتوری می‌شود که این پدیده را «اندوکتانس خودی» یا «خود القاکنائی» می‌نامند و آنرا با علامت L نشان می‌دهند بطوریکه واحد آن نیز برحسب هانری محاسبه می‌گردد.

اندوکتانس‌خودی

در یک سیم‌پیچ تغییر شار مغناطیسی ΔB خاصیت را بوجود می‌آورد و جریانی که توسط خاصیت اندوکتانس خودی بوجود می‌آید، «جریان اندوکتانس» یا «جریان خودالقاکنائی» نامیده می‌شود.

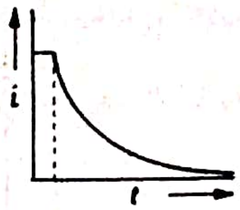
	جریان اندوکتانس خودی که آنرا بطور مختصر «جریان اندوکتانس» نیز می‌نامند. می‌تواند یا در صورت باز و بسته شدن کلیه مدار جریان بوجود بیاید و یا در اثر آنکه ولتاژ اعمالی خودش تغییر کند.
جریان‌اندوکتانس	همچنین می‌تواند با افزایش یا کاهش شدت جریان ایجاد شود
اندوکتانس‌خودی	واحد L هانری است که با علامت H آنرا نشان می‌دهند.

اندوکتانس‌خودی	در اثر عبور یک جریان متغیر در سیم‌پیچ یک میدان متغیر ایجاد می‌شود که در نتیجه، میدان متغیر مذکور باعث می‌شود که در سیم‌پیچ ولتاژ القاء شود به عبارتی می‌توان گفت جریان متغیر ولتاژ القائی را بوجود می‌آورد که با ولتاژ اعمالی مخالفت می‌ورزد. بطور مثال در صورت بازبودن جریان به علت این نمی‌توا ن بلافاصله جریان را با شدت کاملی برقرار کرد. بطوریکه هر چه میزان اندوکتانس خودی سیم‌پیچ بیشتر می‌شود به همان نسبت نیز این اصل بیشتر صدق می‌کند. در واقع جریان اندوکتانس نمی‌تواند بصورت لحظه‌ای تغییر کند و بنابراین جریان در ابتدا بطور تدریجی در جهت رسیدن به یک جریان کامل افزایش می‌یابد.

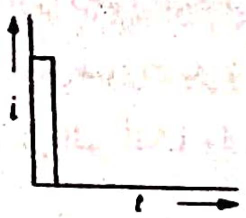


b) در یک سیم‌پیچ

a) در مقاومت اهمی



b) در یک سیم‌پیچ



a) در مقاومت اهمی

اندوکتانس‌خودی

به همین ترتیب در صورت بسته بودن جریان نیز به علت ولتاژی القاء می‌شود که با ولتاژی که قبلاً اعمال شده است هم‌جهت می‌باشد بصورتی که جریان را مدت زمانی در همان جهت برقرار کرده و درنتیجه با قطع آن مخالفت می‌ورزد. بنابراین اندوکتانس خودی در مدار جریان تأثیر ذخیرهٔ انرژی را بیان می‌کند.

«ظرفیت»

آرایشی از دو صفحهٔ فلزی که در شکل یک دیده می‌شود دارای این امکان است که بارهای الکتریکی را بگیرد و آنها را ذخیره سازد و این امر نشان می‌دهد که میزان بارهای ذخیره شده با میزان ولتاژ اعمال شده متناسب است بطوریکه با توجه به رابطهٔ زیر به آن می‌توان پی برد:

$$\boxed{Q = CU} \qquad (1)$$

در اینجا علامت C توانائی ذخیرهٔ بارهای الکتریکی را بر روی آرایشهای هادی بیان می‌کند و به همین علت نیز C را «ظرفیت» می‌نامند. واحد ظرفیت برابر است با:

$1\,\frac{As}{V} = 1$ فاراد (F)

واحدهای کوچکتر نیز از این قرارند:

$$1\,\mu F = 10^{-6}\,F,\ 1\,pF = 10^{-12}\,F$$

خازن وسیله‌ای است که در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد و از نظر فرم هر دو الکترودهای آن در انواع مختلف دسته‌بندی می‌شود. مانند خازن با صفحات موازی، خازن استوانه‌ای و خازن کروی و غیره. البته از دیگر خصوصیاتی که باعث تفاوت بین آنها می‌شود از نظر نوع دی‌الکتریک مصرفی و روش ساخت آنها است که می‌توان از جمله خازن کاغذی، خازن میکا، خازن از نوع لوله شده و غیره را نام برد.

«محاسبه ظرفیت»

ظرفیت یک خازن به شکل، اندازه و دی‌الکتریک مصرفی آن بستگی دارد بطوریکه فقط در انواع مدلهای سادهٔ هندسی بدون صرف هزینهٔ زیادی محاسبه می‌گردد.

در مورد خازن با صفحات موازی مطابق شکل در صورت درنظرگرفتن این فرض که میدان همگنی وجوددارد (کم‌بودن فاصلهٔ بین صفحات (d) رابطهٔ (2) $E = \frac{u}{d}$ معتبر است.

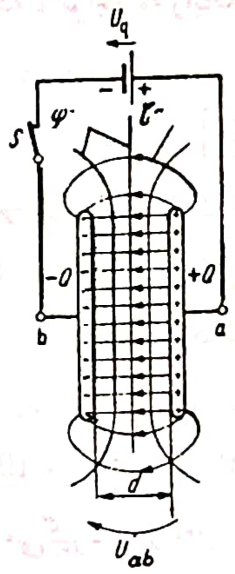
به عبارتی دیگر:

$$D = \frac{Q}{A} = \varepsilon E \qquad (3)$$

$$\frac{Q}{A} = \varepsilon \frac{u}{d} \qquad (4)$$

بنابراین در صورتی که A را به عنوان سطح صفحات و d را به عنوان فاصلهٔ بین صفحات در نظر بگیریم در آن صورت با توجه به رابطهٔ $Q = CU$ در مورد ظرفیت خازن با صفحات موازی می‌توان نتیجه گیری کرد:

$$\boxed{C = \varepsilon \frac{A}{d}}$$

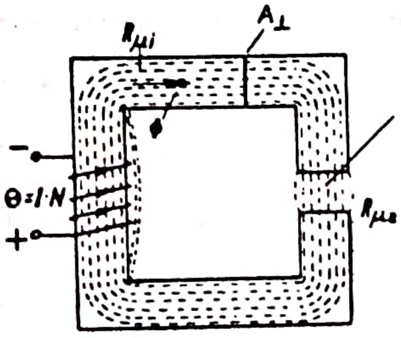


(1)

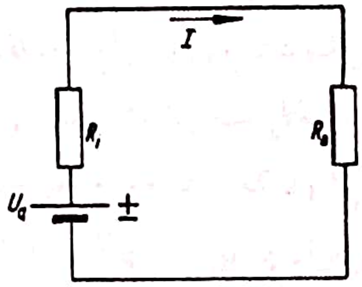
«مدار مغناطیسی با هستهٔ آهنی و شکاف هوائی»

بطور کلی یکی از اجزاء تشکیل دهنده‌ای که در وسایل برقی و ماشینهای الکتریکی از آن استفاده می‌شود، آهنربای الکتریکی با شکاف هوائی می‌باشد. در اینجا همانطور که مشاهده می‌کنید در شکل ۱ تصویر یک مدار مغناطیسی با هسته آهنی و شکاف هوائی نشان داده می‌شود. در مدار مذکور خطوط میدان از هستهٔ آهنی به شکاف هوایی سرازیر می‌شود و در داخل هر دو قسمتهای آن نیز می‌توان میدان همگنی را در نظر گرفت. کاهش چگالی شار نیز در شکاف هوائی از این نظر مورد بررسی قرار می‌گیرد که در شکاف هوائی در حدود ۱۵ تا ۲۰٪ سطح مقطع بزرگتری وجود دارد تا در آهن.

بنابراین رابطهٔ $V = Hl$ در مورد هر کدام از آنها که به عنوان قسمتهای همگن در نظر گرفته می‌شوند صدق می‌کند.



شکل ۱: مدار مغناطیسی



شکل ۲: مدار الکتریکی

همانطور که در مدار جریان الکتریکی با مقاومتهائی که به طور سری بسته شده‌اند (مطابق شکل ۲) شدت جریان در تمام قسمتها یکسان است همانطور نیز در یک مدار مغناطیسی با مقاومتهای مغناطیسی مختلف، شار مغناطیسی در تمام قسمتها یکسان می‌باشد. اما از آنجائیکه شکاف هوائی با مقاومت خیلی بیشتری با شار مغناطیسی

مخالفت می‌ورزد تا هسته آهنی ($\mu_L < \mu E$) به همین علت میزان شدت میدان در شکاف هوائی نیز خیلی بیشتر می‌شود تا شدت میدان در آهن.

اگر شدت میدان در آهن و در هوا را با H_E و H_L و طول متوسط خطوط میدان را در هر دو با علامت l_E و l_L نشان دهیم در آن صورت نیروی محرکهٔ مغناطیسی MMF که به عنوان محرک شار مغناطیسی استفاده می‌شود در رابطهٔ زیر به این صورت صدق می‌کند:

$$MMF = IN = H_E l_E + H_L l_L = V_E + V_L$$

بنابراین به منظور محاسبهٔ یک مدار مغناطیسی با شکاف هوائی نیز رابطه‌های زیر در مورد یکایک قسمتهای مدار مغناطیسی بکار می‌رود:

$$V = H\ell \text{ , } H = \frac{B}{\mu_o} \text{ , } \Phi = BA_L$$

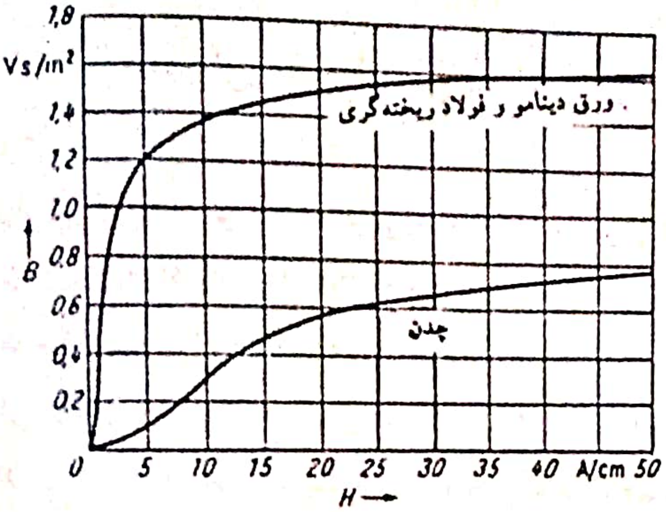
بطور کلی در صنعت میزان نیروی محرکهٔ مغناطیسی یک مدار مغناطیسی با شکاف هوائی در صورتی قابل محاسبه است که در شکاف هوائی میزان القای مغناطیسی معینی وجود داشته باشد.

«میدان مغناطیسی در آهن»

بطور کلی میزان پرمابلیتهٔ نسبی μ_r مواد فرومغناطیس بیشتر از دیگر مواد می‌باشد و به همین جهت نیز در این مواد خیلی آسانتر به میزان شار مغناطیسی بالاتری می‌رسیم تا در هوا. البته میزان پرمابلیتهٔ مواد فرومغناطیس با یکدیگر تفاوت دارند بطوریکه در این حوزه پتانسیل‌هائی چندین برابر یکدیگر وجود دارند. البته این نکته قابل ذکر است که پرمابلیتهٔ نسبی μ_r مواد فرومغناطیس ثابت نیست و بجز به ماده همچنین به شدت میدان و فرآیند قبلی مادهٔ مذکور نیز بستگی دارد. این فرآیند بدان معناست که آیا قبلاً یکبار مادهٔ مغناطیس شده است یا نه و میزان شدت آن چقدر بوده است.

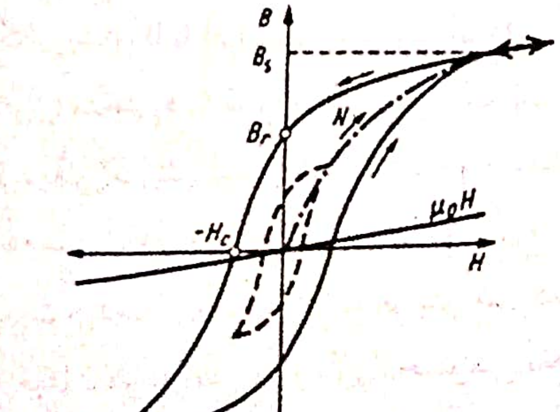
البته به منظور مشخص کردن مشخصهٔ غیر خطی مواد مغناطیسی بطور مثال در آهن دیگر از پرمابلیته استفاده نمی‌توان کرد بلکه بطور غیرمستقیم از وابستگی چگالی شار $B \sim \Phi$ به شدت میدان $H \sim I$ و یا به عبارتی به نیروی محرکهٔ مغناطیسی $MMF = IN$ استفاده می‌گردد.

منحنی مشخصهٔ $B = f(H)$ (منحنی BH) که منحنی مغناطیس شوندگی نامیده می‌شود در مورد انواع مختلف آهن از آن استفاده می‌شود. همانطورکه مشاهده می‌کنید در شکل شمارهٔ یک، منحنی‌های مغناطیس شوندگی ورق دینامو و چدن نشان داده می‌شود که با توجه به جریان این منحنی‌ها و دیگر منحنی‌های مغناطیس شوندگی می‌توان پی‌برد که چگالی شار B با افزایش شدت میدان H تقریباً بطور متعادل افزایش می‌یابد تا زمانیکه «زانوی منحنی» تشکیل می‌گردد که البته پس از آن در مقایسه با اولین قسمت منحنی (BH) دیگر افزایش بسیار کمی دارد. مواد مغناطیسی که بطور مثال در اینجا آهن را می‌توان نام برد، با افزایش شدت میدان H بتدریج به ناحیهٔ اشباع می‌رسند تا زمانی که افزایش شدت میدان در ماده دیگر به افزایش شار کمکی نمی‌تواند بکند و به عبارتی افزایش شدت میدان در افزایش شار تأثیر محسوسی نخواهد داشت.



شکل ۱: منحنی‌های مغناطیس شوندگی ورق دینامو و چدن

جهت مغناطیس آهن می‌تواند از طریق معکوس کردن جهت جریان نیز معکوس شود بطور مثال اگر جریان سیم‌پیچ تحریک یک مدار مغناطیسی را از صفر تا میزان ماکزیمم افزایش داده و دوباره تا میزان صفر کاهش دهیم و این فرآیند را با معکوس کردن پلاریته تکرار کنیم در آن صورت حلقهٔ هیسترزیسی که در شکل ۲ مشاهده می‌کنید، تشکیل می‌گردد. سطح حلقهٔ مذکور نیز با میزان تلفاتی که در هنگام تغییر مغناطیسی آهن بوجود آمده است و همچنین با میزان تلفات هیسترزیس متناسب می‌باشد بطوریکه همیشه در جهتی که در تصویر با پیکان مشخص شده است، جریان دارد.



شکل ۲: حلقهٔ هیسترزیس

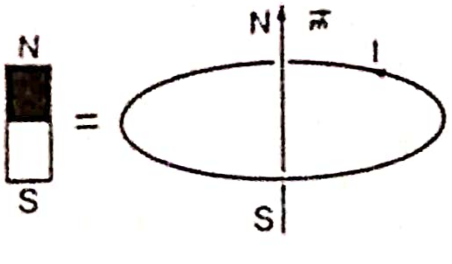
پسماند مغناطیسی B_r در واقع آن میزان القائی است که پس از کاهش یافتن میزان ماکزیمم شدت میدان و رسیدن به صفر روی منحنی مشخص می‌گردد که در این حالت میزان نیروی محرکهٔ مغناطیسی نیز صفر می‌شود در حالیکه چگالی شار هنوز وجود دارد. حال اگر جهت جریان را تغییر داده و بتدریج آنرا در جهت منفی افزایش دهیم، این میزان چگالی شاری که بدون نیروی محرکهٔ مغناطیسی وجود دارد از طریق اعمال شدت میدان مغناطیسی منفی که آنرا نیروی خنثی کنندهٔ H_c می‌نامند، به میزان صفر می‌رسد. منحنی اولیه N نیز یا در صورت مغناطیس شدن آهن در اولین بار و یا بعد از غیر مغناطیسی شدن کامل (از بین رفتن خاصیت مغناطیسی بطورکامل) تشکیل می‌گردد و حلقهٔ هیسترزیس کوچکی که در داخل حلقهٔ بزرگتر مطابق شکل نشان داده می‌شود در صورت بکاربردن میزان شدت میدان ماکزیمم کمتر بوجود می‌آید. و سرانجام در صورت افزایش شدت میدان مطابق شکل ۲ به مقدار اشباع B_s چگالی شار مغناطیسی می‌رسیم که در صورت تغییر مغناطیس با همین میزان شدت میدان، حلقهٔ اشباع تشکیل می‌گردد. در شکل بالا نیز چگالی شار $B = \mu_0 H$ در داخل یک سیم‌پیچ حامل جریان بدون آهن بوجود می‌آید. در اینجا رابطهٔ بین H و B متناسب است زیرا در مورد هوا میزان پرمابلیتهٔ نسبی برابر ۱ بوده و ثابت می‌باشد.

«گشتاور مغناطیسی»

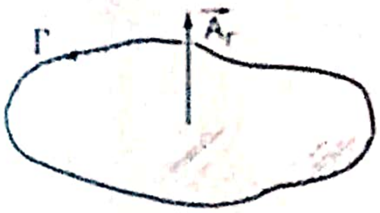
بطورکلی مقدار مغناطیس در یک حوزهٔ مکانی توسط گشتاور مغناطیسی $\vec{m}$ بدست می‌آید که بصورت یک کمیت برداری نشان داده می‌شود. این بردار که کل گشتاور را در یک حوزه توصیف می‌نماید برابر مجموع یکایک گشتاورهای کوچک مغناطیسی می‌باشد که در واقع این کوچکترین ذرهٔ ممکن را اسپین الکترون می‌نامند. بنابراین در مورد گشتاور مغناطیسی صدق می‌کند: $\vec{m} = \Phi.\vec{d}$ S N

در این رابطه $\vec{d}$ S N علامت فاصلهٔ $\vec{d}$ (فاصلهٔ بین قطب شمال تا جنوب) را نشان می‌دهد که البته به دلیل وجود همین قطبها آنرا «گشتاور مغناطیسی دو قطبی» نیز می‌نامند. حال اگر بخواهیم وابستگی گشتاور مغناطیسی را به جریان نشان دهیم در آن صورت رابطهٔ زیر را می‌توانیم بنویسیم: $\vec{m} = \mu\, I.\vec{A}_r$

از نظر میکروسکوپی عامل تعیین کنندهٔ جهت بصورت زیر نمایش داده می‌شود.

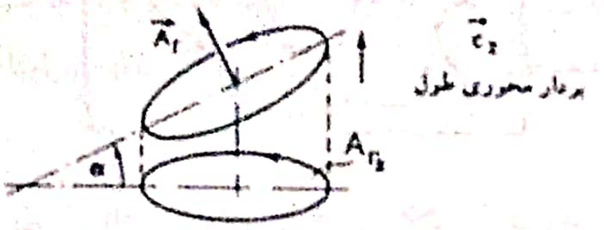


شکل 1b

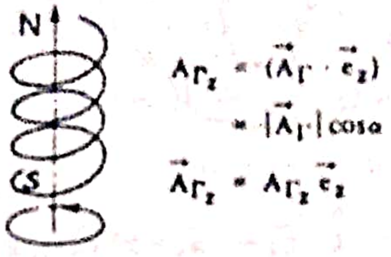


شکل 1a

شکل بالا تصویر یک منحنی بستهٔ دلخواه را با علامت r نشان می‌دهد بطوریکه در جهت طول بار حامل جریان دارد و از این منحنی بسته سطح A_r بدست می‌آید به عبارتی دیگر مسیر بسته منحنی r سطح A_r را بوجود می‌آورد. البته جهت آن نیز جهت نرمالی است که روی تمام نقاط سطح بطور متوسط وجود داشته و در جهت حرکت چرخشی راستگرد قرار دارد. در شکل ۱ تصویر مدل یک جریان حلقوی مولکولی نمایش داده می‌شود.

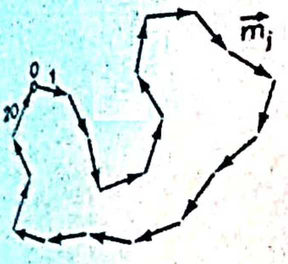


شکل 2a

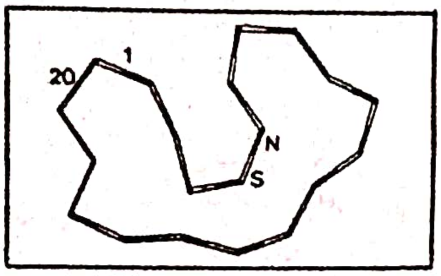


شکل 2b

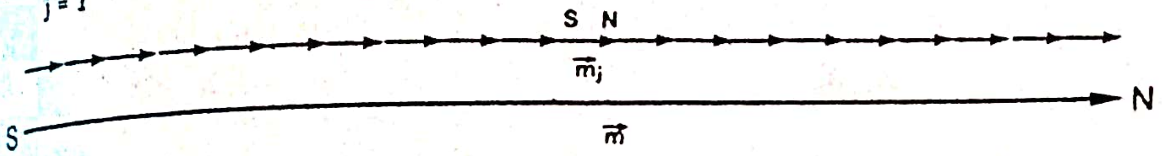
اما برعکس شکل‌های 2a و 2b وضعیت یک سیم‌پیچ هادی را نشان می‌دهند. بطور مثال در شکل 2a تصویر یک حلقه سیم‌پیچ بطور شماتیک نمایش داده می‌شود و $\vec{A}_r$ در اینجا سطحی را نشان می‌دهد ک توسط دوران r بار حامل محصور شده است. همچنین به منظور تعیین گشتاور مغناطیسی این دوران می‌توان طرح A_{r_z} را در نظر گرفت که جهت مربوطه توسط $\vec{e}_z$ که یک بردار محوری است مشخص می‌گردد. در اینجا جهت مربوطه توسط $\vec{e}_z$ که یک بردار محوری است مشخص می‌گردد. همانطور که در شکل 2b مشاهده می‌کنید، گشتاور مغناطیسی سیم‌پیچ چهار برابر گشتاور مغناطیسی یک حلقه است زیرا طرح سطوح برابر بوده و جهت مربوطه نیز محوری است. بنابراین جهت گشتاور مغناطیسی سیم‌پیچ محوری می‌باشد که در جهت قطب جنوب به طرف قطب شمال قرار دارد. میزان مغناطیس در یک حوزهٔ مکانی از طریق مجموع برداری گشتاورهای مغناطیسی بدست می‌آید بطوریکه اگر میزان این مجموع برابر صفر باشد در آن صورت میزان مغناطیس موجود در خارج قابل اندازه‌گیری نیست در حالی‌که اگر این مجموع برابر صفر نباشد در آن صورت می‌توان میزان مغناطیس را اندازه‌گیری کرد. بطور کلی اگر تمام گشتاورهای مغناطیس کوچک اتمی هم‌جهت باشند در آن صورت حالت اشباع مغناطیسی پیش می‌آید. طول برداری این گشتاورهای مغناطیس کوچک اتمی (مغناطیس‌های بنیادی) نیز از نظر ریاضی با توجه به گشتاور اسپین به صورت زیر بیان می‌گردد:



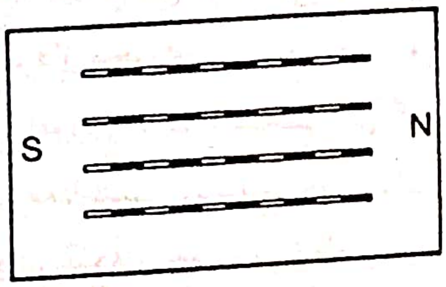
$$\vec{m} = \sum_{j=1}^{n=20} \vec{m}_j = 0$$



$$\vec{m} = \sum_{j=1}^{n} \vec{m}_j = n\,\vec{m}_j = 20\,\vec{m}_j$$



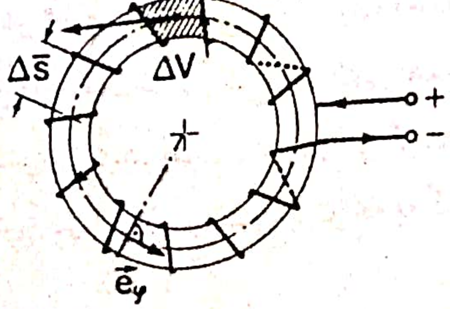
در صورتی که تمام $\vec{m}_j$ها در یک جهت قرار داشته باشند در آن صورت مجموع آنها بیشتر از مضربشان می‌شود.



شکل ۵ : مغناطیس اشباع

ازلحاظ ماکروسکوپی این پیچک حالتی استثنائی دارد زیرا دارای هیچگونه قطب آزادی نمی‌باشد.

$$\Delta \vec{m} = \vec{m}_j \neq 0$$



در فضای اطراف این سیم‌پیچ چنبره‌ای در صورتی که میزان غیر همگنی و شار نشتی جزئی باشد، میدان مغناطیسی تشکیل نمی‌گردد. در حالیکه در داخل سیم‌پیچ اگر $I \neq O$ باشد و بدون آنکه پسماند مغناطیسی در آهن موجود باشد، میدان مغناطیسی بوجود می‌آید. در صورتی که چگالی شار مغناطیس B فقط کمی غیرهمگن باشد، رابطهٔ زیر معتبر است:

$$\vec{B}=\frac{\Delta\vec{m}}{\Delta V}=\mu I\vec{A}\Gamma\frac{\Delta N}{A\Gamma\Delta\bar{s}}=\mu\frac{\Delta\Theta}{\Delta\bar{s}}\vec{e}_{\varphi}=\mu\vec{H},\vec{m}=\sum_{j=1}^{12}\vec{m}j=o$$

بنابراین القای مغناطیسی همان چگالی گشتاور مغناطیسی است که در مکان یا نقطهٔ میدان وجود دارد و به صورت افزایش گشتاور $\Delta\vec{m}$ نسبت به افزایش حجم ΔV سطح مقطع میدان مورد نظر بیان می‌گردد.

«قانون لنز»

اگر به اصل القاء الکترومغناطیسی رجوع کنیم پی می‌بریم که در هنگام القاء الکترومغناطیسی، انرژی الکتریکی کسب می‌شود. همچنین براساس یک قانون طبیعی معتبر دربارهٔ کسب انرژی می‌توان فرم جدیدی از انرژی را فقط با تغییر شکل از فرم دیگر انرژی بدست آورد.

این اصل راکه در مورد پدیدهٔ القاء الکترومغناطیسی معتبر است می‌توان در آزمایش با یک هادی خطی که در میدان مغناطیسی حرکت می‌کند، مورد بررسی قرار داد: در شکل ۱ تصویر یک هادی خطی نشان داده می‌شود که درمیدان مغناطیسی ساکنی مانند حالت شکل ۳ قرار دارد. حال اگر این هادی را به مدار بسته‌ای که از آن جریان عبور می‌کند متصل کنیم و هادی رامطابق شکل 2a بسمت چپ حرکت دهیم در آن صورت جریان القائی در سطح تصویر وارد می‌شود (یا به عبارتی دیگر جهت جریان القا شده بطرف داخل صفحه کاغذ است) که این جریان القا شده در اطرافش از طرف خود دوباره یک میدانی را بوجود می‌آورد که جهت آنرا می‌توان توسط «قانون دست چپ» تعیین کرد. همانطورکه در شکل 2a نشان داده می‌شود این میدان بوجود آمده بر روی میدان مغناطیسی اولی منطبق می‌شود و میدان منتجه مطابق شکل 2b بر روی هادی نیروئی بسمت راست اعمال می‌کند که با حرکتی که جریان القائی را بوجود می‌آورد، مخالفت می‌ورزد. بنابراین مخالف با این نیروئی که میدان بر روی هادی حامل جریان اعمال می‌کند باید در هنگام حرکت هادی کار انجام شود و این کار بنابر قانون انرژی معادل کار الکتریکی می‌باشد که از طریق اندوکسیون بدست می‌آید.

بنابراین نیروئی که میدان مغناطیسی بر روی جریان حامل اندوکسیون در هادی متحرک اعمال می‌کند با نیروئی که جریان القائی را بوجود آورده است مخالفت می‌ورزد.

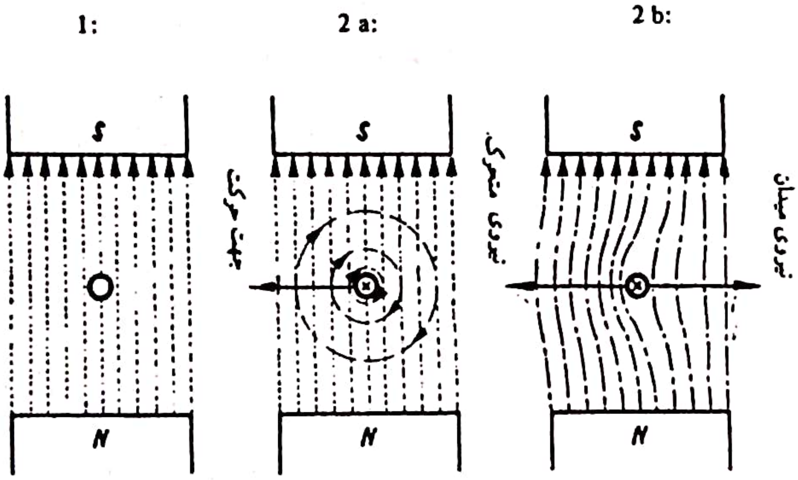
در هنگام القاء در سیم‌پیچ نیز به همین نتیجه می‌توان رسید بدین ترتیب که اگر قطب شمال آهنربائی را به یک سیم‌پیچ نزدیک کنیم در آن صورت جریان اندوکسیون در جهتی قرار می‌گیرد که در انتهای سیم‌پیچی که به‌طرف قطب گردانده شده، یک قطب

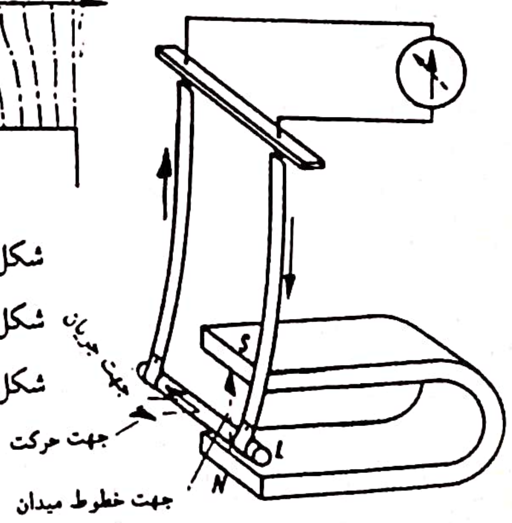
شمال بوجود می‌آید در حالیکه در صورت نزدیک کردن قطب مغناطیسی باید در مقابل نیروی دافعهٔ قطب‌های همنام کار انجام شود. حال اگر قطب شمال را از سیم‌پیچ دور کنیم در آن صورت جریان اندوکسیون در جهت مخالف برقرار می‌شود بطوریکه در انتهای سیم‌پیچ که بطرف قطب گردانده شده، یک قطب جنوب بوجود می‌آید. از آنجائیکه قطبهای مغناطیسی غیرهمنام همدیگر را بطور متقابل جذب می‌کنند بنابراین باید در هنگام دور شدن آهنربا کار انجام شود بنابراین کاری که در هنگام حرکت آهنربا در هر دو حالت درمقابل نیروی دافعه یا جاذبه انجام می‌شود معادل کار الکتریکی‌ای می‌باشد که توسط اندوکسیون بدست آمده است.

بنابراین با توجه به قانون انرژی می‌توان در مورد هر دو مثالها «قانون لنز» را نتیجه‌گیری کرد:

«جریانی که در سیم هادی القاء می‌شود همیشه در جهتی قرار دارد که میدان مغناطیسی‌اش با منشاء بوجود آورندهٔ جریان مخالفت می‌ورزد.»

قانون لنز از نظر عملی در مورد تعیین جهت جریان القائی بکار می‌رود.





شکل 1: هادی ساکن در میدان مغناطیسی

شکل 2a: تطبیق میدان مغناطیسی توسط میدان جریان اندوکسیون

شکل 2b: میدان منتجه

[illegible]

فصل سوم

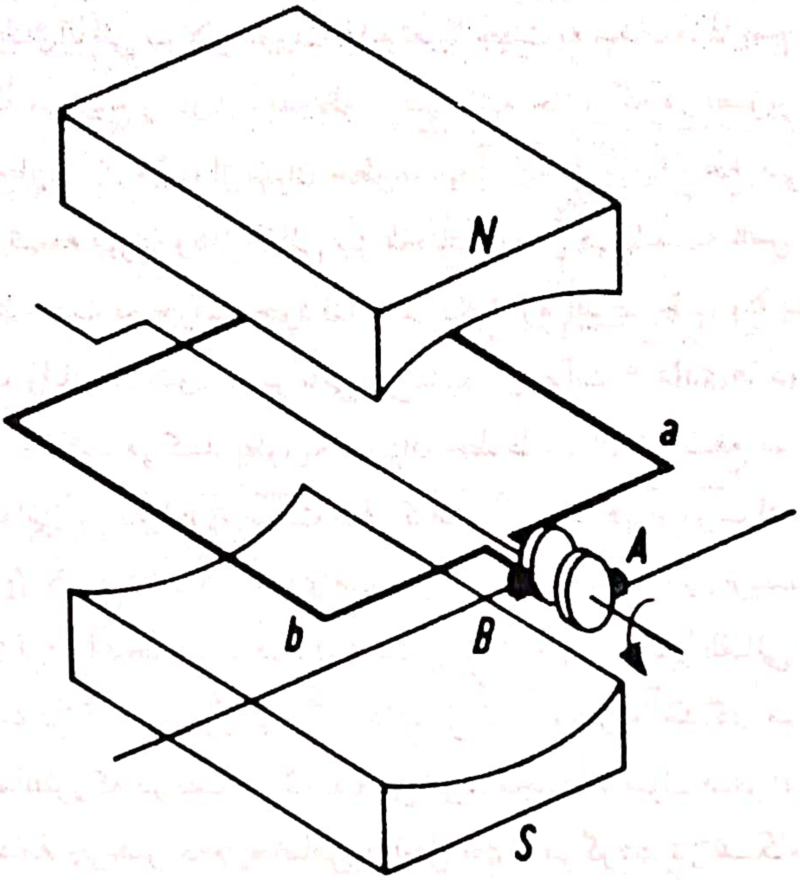
مدارهای جریان الکتریکی متناوب

«تولید جریان متناوب»

همانطورکه در تصویر شمارهٔ یک مشاهده می‌کنید، یک حلقهٔ سیم‌پیچ قابل چرخش در میدان مغناطیسی یکنواخت یک مغناطیس دائم قرار گرفته است بطوریکه محور چرخش (D) در جهت خطوط میدان عمود می‌باشد. بر روی محور چرخش نیز دو حلقهٔ عایق مقابل یکدیگر قرار گرفته‌اند بصورتی که ابتدا و انتهای این کلاف تک دوری به آن متصل می‌شود. بر روی این حلقه‌ها نیز دو کنتاکت ذغالی B و A می‌لغزد که به آن «جاروبکهای ذغالی» نیز می‌گویند. حال اگر به آنها ولتمتر حساسی متصل کنیم در آن صورت متوجه می‌شویم که در هنگام چرخش کلاف مذکور، انحراف عقربه جهت متغیری را نشان می‌دهد.

در هنگام چرخش کلاف، خطوط میدان توسط قسمتهای سیم‌پیچ a و b که موازی با محور چرخش می‌باشد، قطع می‌گردد و به همین علت نیز در دو سر کلاف ولتاژ القا می‌شود. در صورت ثابت بودن سرعت چرخش، میزان ولتاژ القائی مطابق اصل اندوکسیون با میزان خطوط میدان که در مقاطع زمانی یکسان قطع شده است، متناسب می‌باشد. اگر میزان خطوط میدان که توسط کلاف در مقاطع زمانی یکسانی قطع شده است، با یکدیگر مقایسه گردد، در آن صورت می‌توان تصویری آنی از جریان ولتاژ را هنگامی‌که کلاف ۳۶۰ درجه به طور کامل می‌چرخد، بدست آورد.

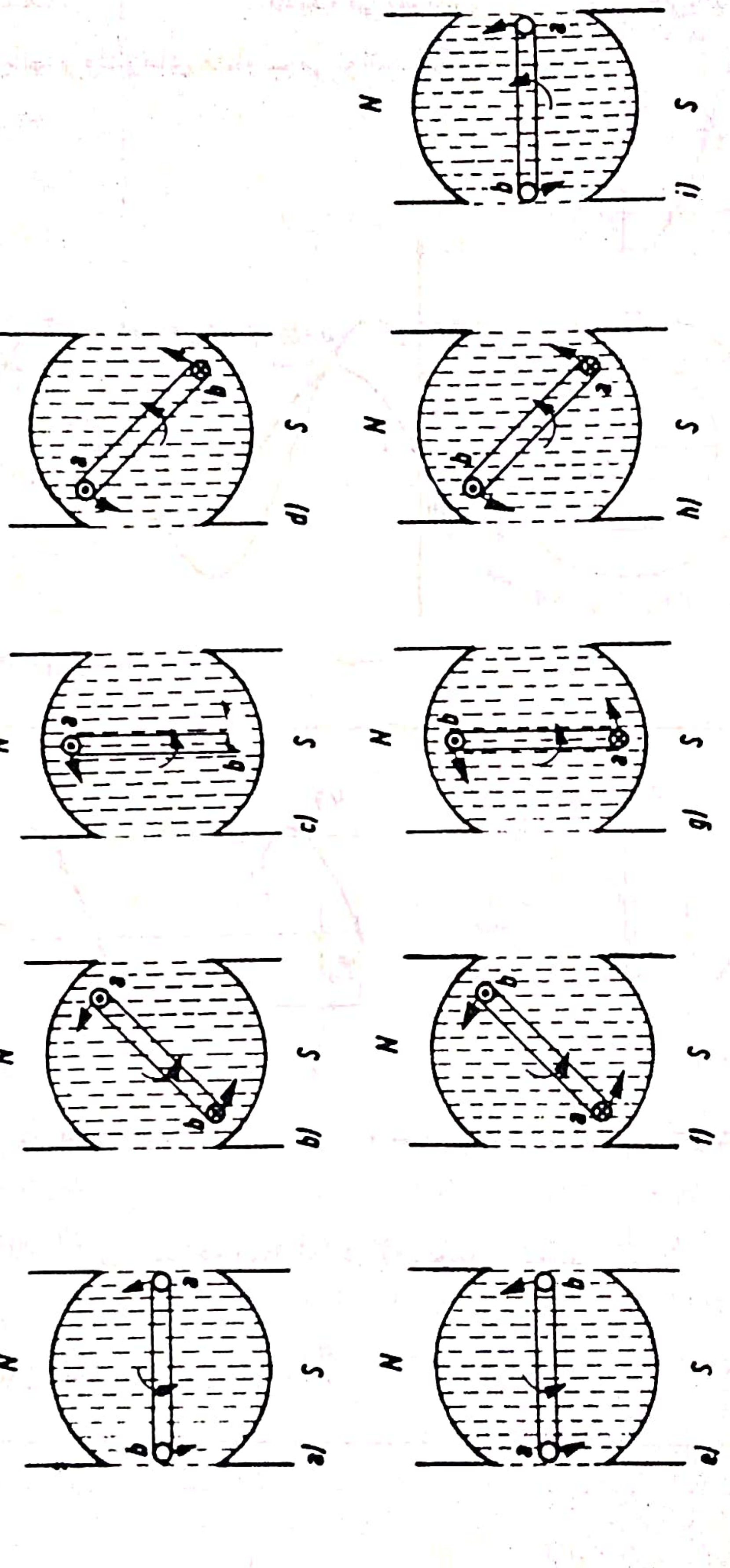
حال اگر از حالت اولیه که در تصویر ۱ نشان داده می‌شود یعنی حالتی که حلقه هادی عمود بر جهت خطوط میدان قرار دارد (شکل 2a) خارج شویم، در آن صورت هر دو قسمتهای a و b در این لحظه موازی با خطوط میدان حرکت می‌کنند. بنابراین به هیچ وجه خطوط میدان قطع نمی‌گردد و در نتیجه هیچگونه ولتاژی نیز القاء نمی‌شود.



شکل 1

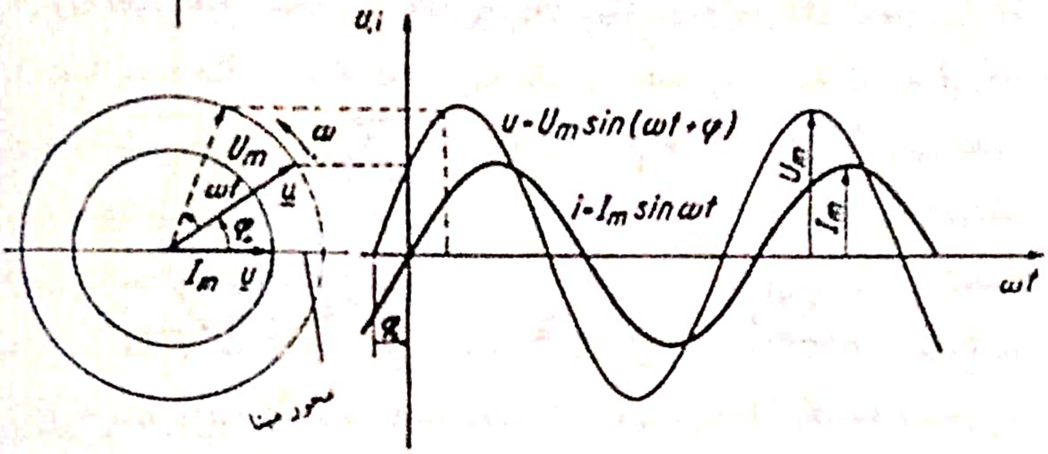
اما در صورت ادامهٔ چرخش، قسمتهای سیم‌پیچ بطور اُریب با خطوط میدان تغییر مکان می‌دهند. در این حالت مطابق تصویر 2b فقط مقدار کمی از خطوط میدان قطع می‌شود بطوریکه فقط مقدار کمی ولتاژ القا می‌گردد. در اینجا جهت جریان القائی مطابق قانون دست راست تعیین می‌شود. حال اگر هادی q بطرف چپ تغییر مکان دهد، از آنجائیکه جهت خطوط میدان از بالا به پایین جریان دارد، بنابراین جهت جریان در هادی a طوری عبور می‌کند که به خواننده نزدیک می‌شود. در حالیکه در هادی a که بطرف راست حرکت می‌کند، از خواننده دور می‌شود. بنابراین اگر به جهت خطوط میدان روی حلقهٔ سیم‌پیچ نگاه کنیم متوجه می‌شویم که جهت عبور جریان در حلقه در جهت عقربهٔ ساعت می‌باشد. در صورت ادامهٔ چرخش میزان خطوط میدان که در واحد زمان قطع می‌شود، افزایش می‌یابد و در زاویهٔ ۹۰ درجه مطابق تصویر 2c به میزان ماکزیمم خود می‌رسد. زیرا در اینجا قسمتهای سیم‌پیچ عمود بر جهت خطوط میدان حرکت می‌کنند

که در نتیجه ولتاژ القائی نیز در صورت عدم تغییر جهت به میدان ماکزیمم خود می‌رسد. حال اگر حلقهٔ سیم‌پیچ را دوباره به‌منظور رسیدن به حالتی که در تصویر 2d نشان داده می‌شود بچرخانیم، آن وقت از میزان خطوط میدان که در ثانیه قطع می‌شود، کاسته می‌گردد و درنتیجه میزان ولتاژ القائی نیز مجدداً کاهش می‌یابد. به دلیل آنکه هادی‌ها هنوز در همان جهت به حرکت خود ادامه می‌دهند (a بطرف چپ و b بطرف راست) بنابراین جهت ولتاژ نیز بدون تغییر باقی می‌ماند. در حالت e هادی‌ها دوباره موازی با خطوط میدان حرکت می‌کنند بطوریکه میزان خطوط میدان که قطع شده است و در نتیجه ولتاژ القائی نیز دوباره به سمت صفر کاهش می‌یابد. در صورت ادامهٔ چرخش در حالتهای f، g و h جهت حرکت هادی‌های a و b معکوس می‌گردد (a بسمت راست و b بسمت چپ) و در نتیجه بنابر قانون دست راست جهت ولتاژ القائی نیز برعکس می‌شود. در حالتی که در تصویر 2g نشان داده می‌شود، ولتاژ به حداکثر میزان منفی خود می‌رسد و همانطورکه در تصویر 2i دیده می‌شود، مجدداً تا میزان صفر افزایش می‌یابد. در صورت ادامهٔ چرخش دوباره تمامی مراحل تکرار می‌گردد. در هنگام حرکت بین حالتهای a تا e جاروبک ذغالی A که با هادی a تماس دارد قطب مثبت و جاروبک ذغالی B که با هادی b تماس دارد قطب منفی می‌باشد. در حالیکه در هنگام حرکت بین حالتهای e تا i برعکس جاروبک ذغالی A قطب منفی و جاروبک ذغالی B قطب مثبت را تشکیل می‌دهد. بنابراین در قسمت خارجی مدار هادی که به قطبها متصل است جریانی با شدت و جهت متغیر عبور می‌کند که آنرا «جریان متناوب» می‌نامند.

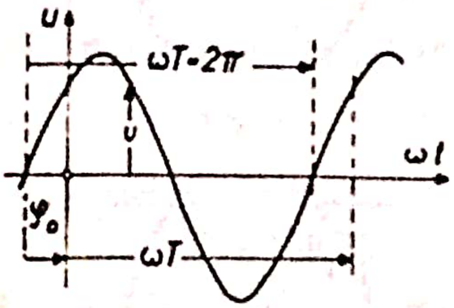


تصویر 2: چرخش حلقهٔ سیم‌پیچ در میدان مغناطیسی

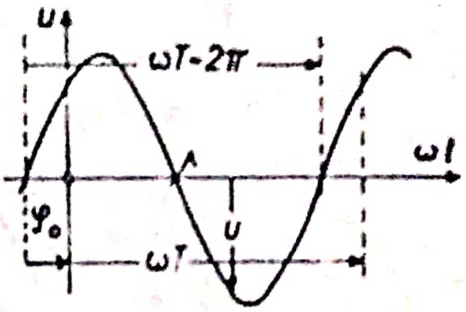
جریانهای متناوب	جریانهائی که مقدار و جهت آنها بطور زمانی و پریودیک تغییر می‌کنند، نامیده می‌شوند. امواج جریانها و ولتاژهای متناوب می‌توانند شکل سینوسی داشته باشند.



بردار گردان دیاگرام زمانی



ولتاژ متناوب	در شکل بالا تصویر یک سینوسی نشان داده می‌شود. در اینجا u مقداری است که ولتاژ آنرا در یک لحظهٔ مشخص دارا می‌باشد. بنابراین u را مقدار لحظه‌ای می‌نامند.



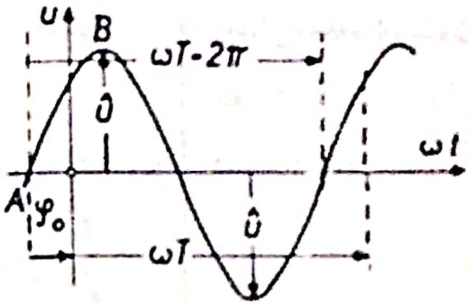
در اینجا تصویر یک   نشان داده می‌شود.

u   است. به عبارتی مقداری است که ولتاژ آنرا

در یک لحظهٔ مشخص دارا باشد.

در نقطهٔ A   برابر با صفر است.

ولتاژ متناوب سینوسی
ولتاژ متناوب سینوسی
مقدارلحظه‌ای



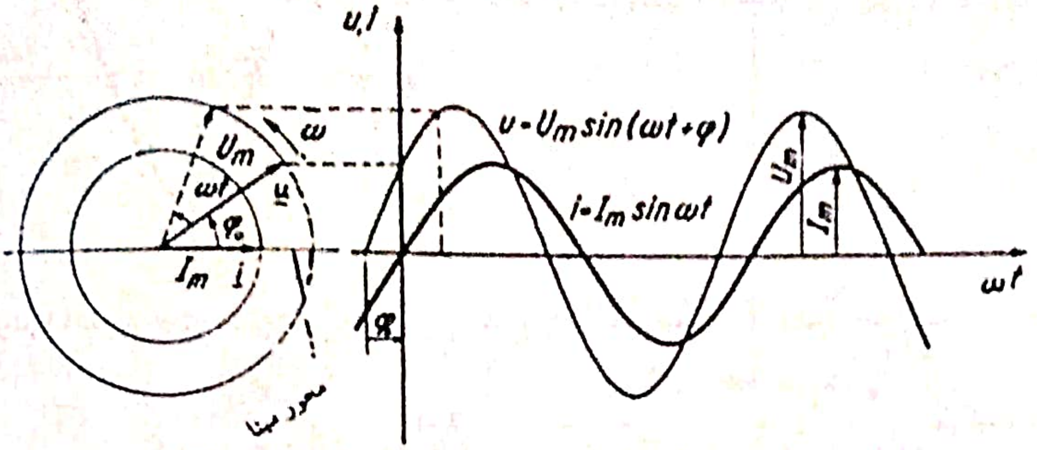
در شکل بالا تصویر یک   دیده می‌شود.

در نقطهٔ A برابر با صفر است.

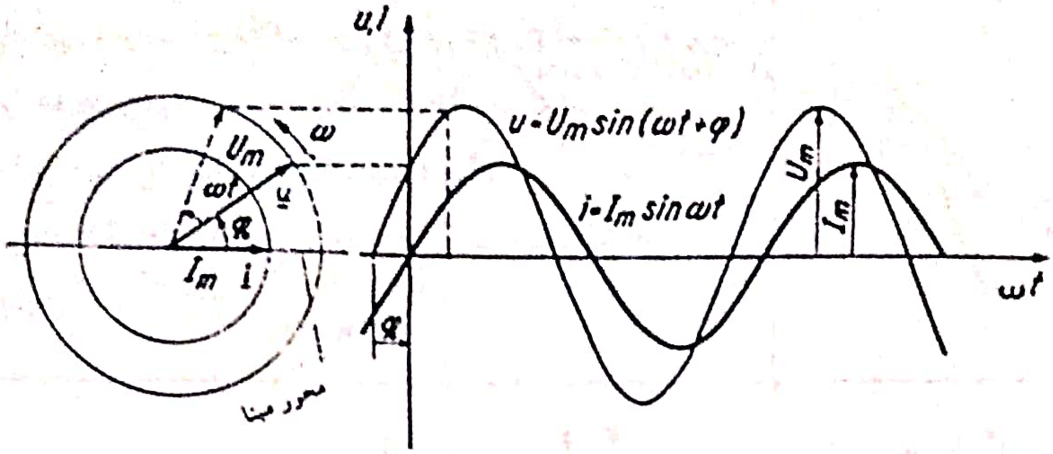
در نقطهٔ B بیشترین حد مقدار ولتاژ را نشان می‌دهد که آنرا مقدار پیک یا مقدار ماکزیمم ولتاژ u_m می‌نامند.

مقدارپیک یا مقدار ماکزیمم ولتاژ $\hat{u} = u_m$ را دامنه نیز می‌نامند.

ولتاژ متناوب سینوسی -
مقدار لحظه‌ای -
مقدار لحظه‌ای



در شکل بالا تصویر یک ولتاژ متناوب و نیز یک جریان متناوب سینوسی دیده می‌شود.	سینوسی
u ولتاژ و i نیز مقدار لحظه‌ای است.	مقدار لحظه‌ای - جریان
$u_m = \hat{u}$ ولتاژ متناوب و $I_m = \hat{i}$ نیز جریان متناوب رانشان می‌دهد.	دامنه،دامنه
φ_0 نیز نشاندهندهٔ زاویهٔ فاز ولتاژ است.	
از آنجائیکه جریان از صفر شروع می‌شود بنابراین زاویهٔ فاز جریان برابر با صفر می‌باشد.	



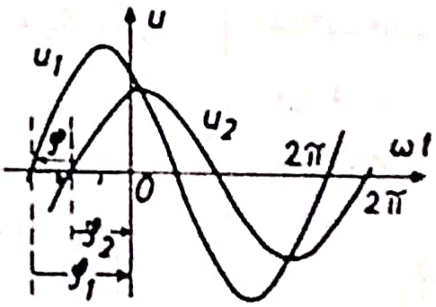
دیاگرام زمانی بردار گردان

زاویه فاز

در اینجا تصویر یک ولتاژ متناوب سینوسی و یک جریان متناوب سینوسی نشان داده می‌شود.

φ_0 ولتاژ است.

زمانی که طول می‌کشد تا شدت جریان یک دورهٔ تناوب کامل (صعود و نزول جریان در هر دو جهت) را طی کند، پریود (T) نامیده می‌شود.



پریود

در اینجا پریود T_0 دو ولتاژ متناوب U_1 و U_2 نشان داده می‌شود که به نوسانات غیر میرائی مربوط می‌گردد.

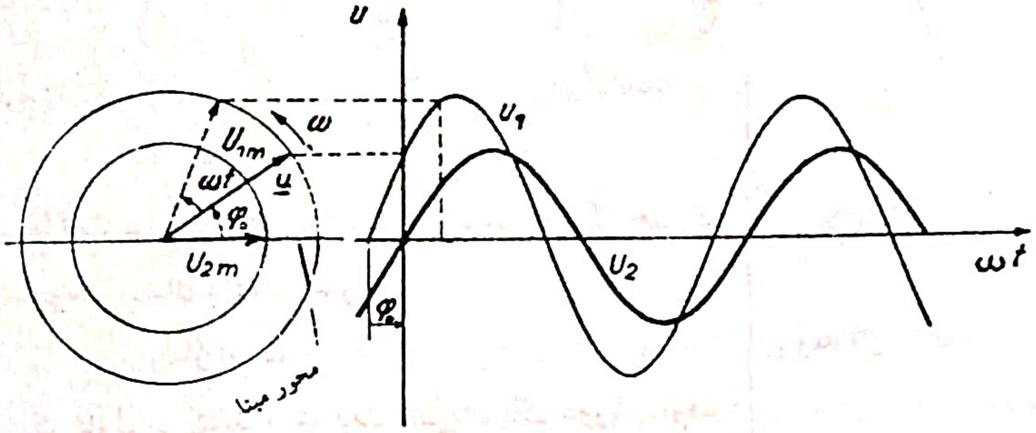
T_0 با 2π رادیان یا ۳۶۰ درجه برحسب سنجش زاویه‌ای مطابقت دارد.

زاویه‌های فاز

φ_1 و φ_2 هستند.

زاویهٔ فاز φ برابر اختلاف دو زاویهٔ φ_1 و φ_2 است و میزان جابجائی دو پریود را نسبت به یکدیگر بیان می‌کند.

بنابراین می‌توان گفت: در اینجا هر دو پریود نسبت به یکدیگر اختلاف فاز دارند و یا به عبارتی در اینجا اختلاف فاز وجود دارد.



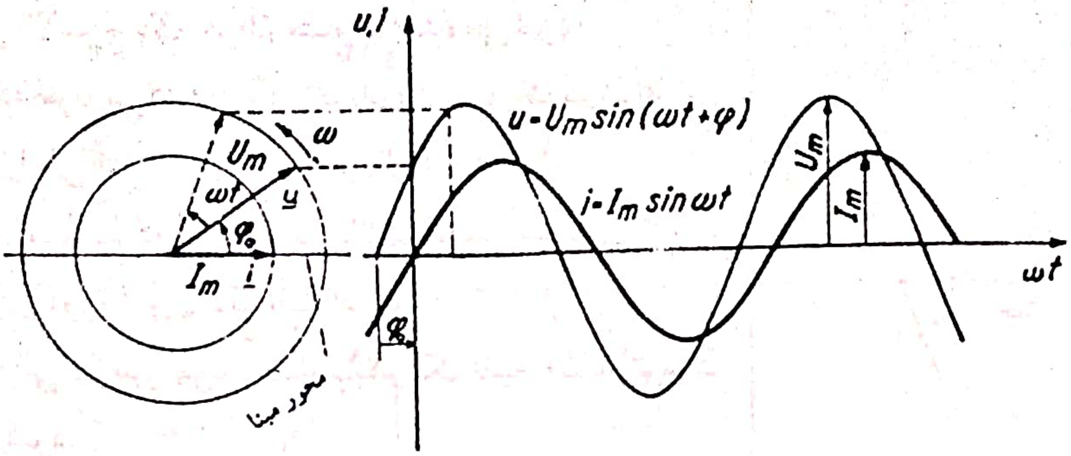
بردار گردان — دیاگرام زمانی

در شکل بالا اختلاف‌فاز دو ولتاژ متناوب نشان داده می‌شود.

اختلاف فاز ـ زاویهٔ فاز ـ اختلاف فاز

میزان جابجائی یا آنها نسبت به یکدیگر، φ می‌باشد.

اگر $\varphi \neq 0$ باشد، در آن صورت بین ولتاژها وجود دارد. اما اگر $\varphi = 0$ باشد، در آن صورت ولتاژها هم‌فاز هستند یا به عبارتی اختلاف فاز ندارند.



بردار گردان دیاگرام زمانی

آیا جریان و ولتاژ در این دیاگرام زمانی هم‌فاز هستند؟

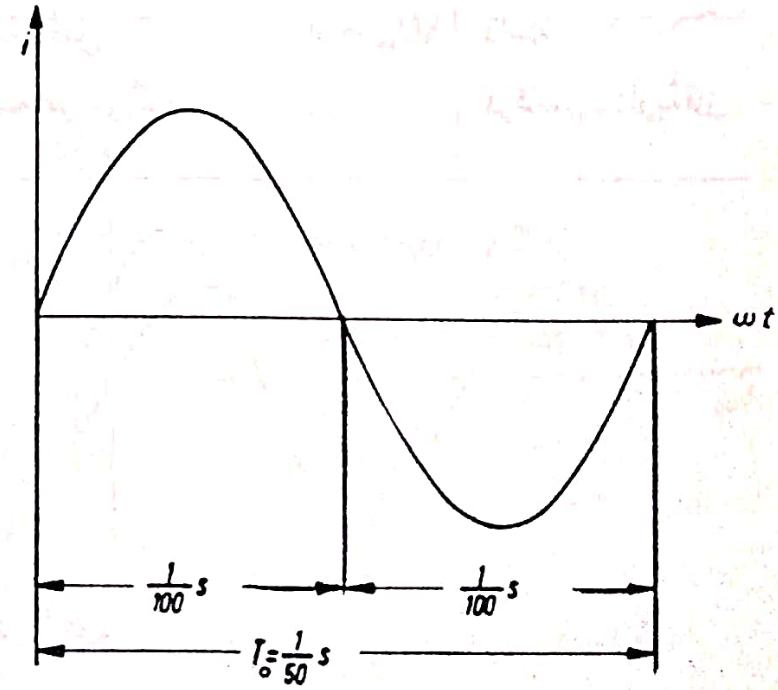
بله یا خیر؟

خیر

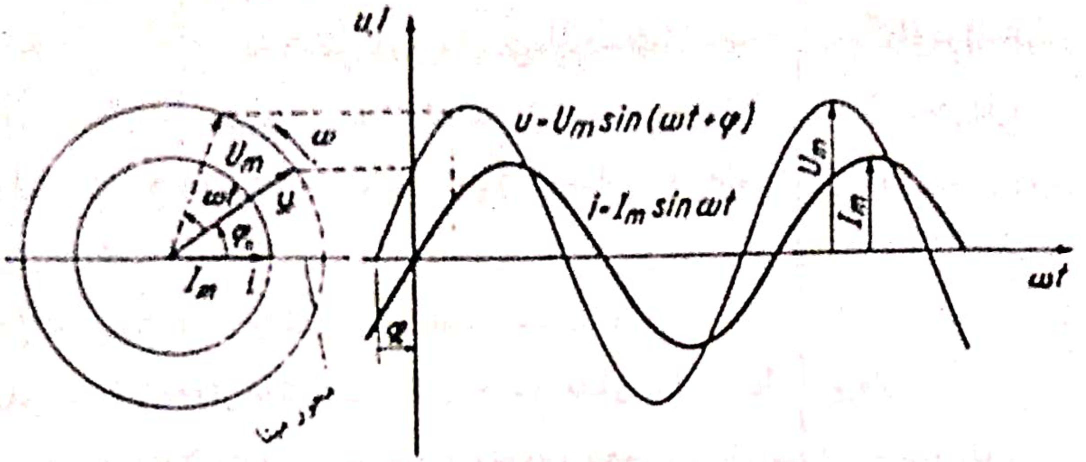
جریان و ولتاژ در اینجا هم‌فاز نیستند. آنها نسبت به یکدیگر اختلاف فاز دارند.

اگر دو زاویهٔ فاز برابر صفر نباشند، در آن صورت دو تابع سینوسی .... نیستند.

هم‌فاز



در تصویر بالا موج یک جریان متناوب دیده می‌شود. زمانی را که طول می‌کشد تا یک جریان متناوب یک دورهٔ تناوب کامل را طی کند، T_0 می‌نامند. جریان متناوب که در تصویر بالا فرکانس صنعتی ۵۰Hz دارد، دارای دورهٔ تناوب $\frac{1}{50}$ ثانیه است. به عبارتی در این جریان متناوب در یک ثانیه ۵۰ بار توسان انجام می‌شود. این تعداد نوسانات غیر میرائی در واحد زمان را فرکانس f می‌نامند.	پریود
بنابراین می‌توان نوشت: $T_0 = \frac{1}{f}$ در این رابطه T_0 را می‌نامند. و f را واحد فرکانس f برابر با ۱ هرتز (Hz) است. یک موج جریان متناوب می‌تواند دارای فرکانس صنعتی ۵۰ Hz باشد.	پریود یا دورهٔ تناوب - فرکانس
کمیتهای سینوسی توسط سه عامل $U_m = \hat{u}$، f و φ مشخص می‌گردند.	دامنه فرکانس - زاویهٔ فاز



بردار گردان — دیاگرام زمانی

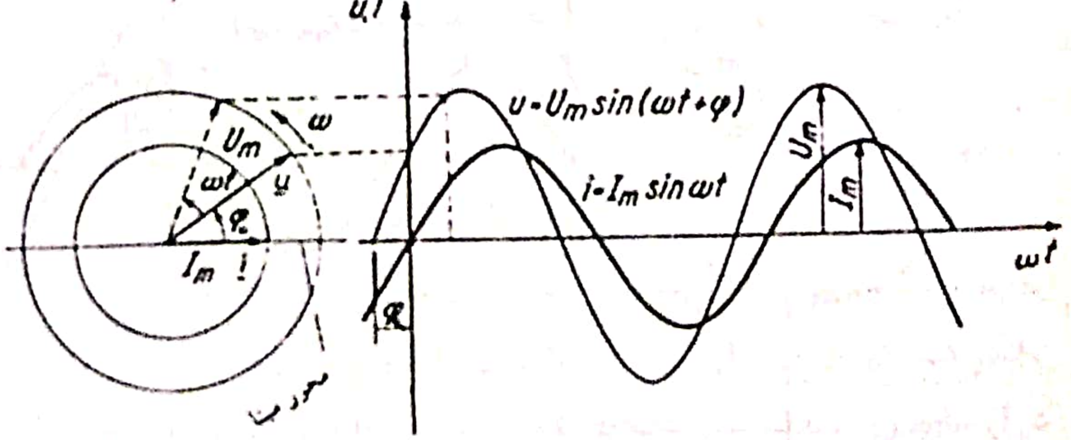
در اینجا یک ولتاژ متناوب سینوسی و یک جریان متناوب سینوسی روی دو دیاگرام نمایش داده می‌شوند.

در سمت چپ یک دیاگرام برداری و در سمت راست یک دیاگرام زمانی دیده می‌شود.

دیاگرام زمانی یک دیاگرام خطی است.

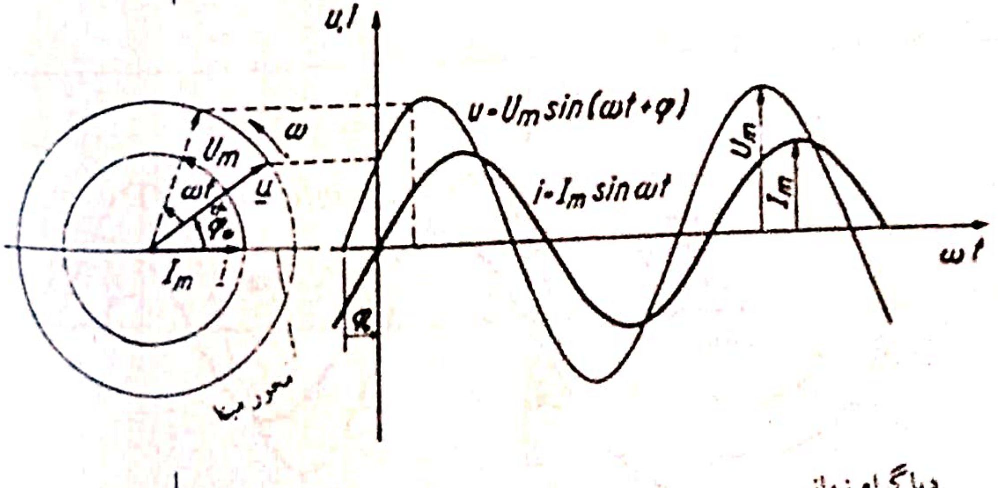
بنابراین توابع زمانی سینوسی می‌توانند بطور مثال بصورت منحنی‌های سینوسی روی .... نشان داده شوند.

دیاگرام‌زمانی



بردار گردان — دیاگرام زمانی

دیاگرام زمانی - دیاگرام برداری	در سمت راست تصویر یک و در سمت چپ تصویر یک که شامل دو بردار می‌باشد، نشان داده می‌شود.
بردار	طول $\underline{u}$ با مقدار ماکزیمم (پیک) ولتاژ متناوب $\hat{u} = U_m$ متناسب است. $\underline{u}$ علامت بردار ولتاژ را نشان می‌دهد.
بردار	طول $\underline{i}$ با مقدار ماکزیمم (پیک) جریان متناوب $\hat{i} = I_m$ متناسب است. $\underline{i}$ علامت بردار جریان را نشان می‌دهد.
بردار ولتاژ	بردار جریان و با سرعت یکسان برخلاف جهت حرکت عقربهٔ ساعت حرکت می‌کنند. این سرعت را سرعت زاویه‌ای W می‌نامند.
سرعت زاویه‌ای	بنابراین در مورد w می‌توان نوشت: $w = \frac{2\pi}{T_o} = 2\pi.f$ رابطهٔ $2\pi f$ را فرکانس زاویه‌ای نیز می‌نامند. واحد فرکانس زاویه‌ای برابر با $\frac{1}{S} = S^{-1}$ است.



بردار گردان   دیاگرام زمانی

دیاگرام برداری

در سمت چپ تصویر، یک جریان متناوب سینوسی و یک ولتاژ متناوب سینوسی نمایش داده می‌شود.

بردارهای گردان با فرکانس زاویه‌ای ثابت $2\pi f$ حول نقطهٔ مرکزی دایره در جهت عکس عقربهٔ ساعت می‌چرخد.

فرکانس زاویه‌ای -

برابر با حاصلضرب 2π در فرکانس f است.

بردار ولتاژ -

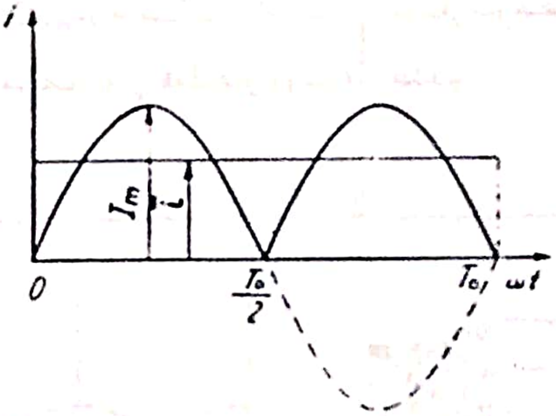
بردار جریان

$\underline{u}$ و $\underline{i}$ را نشان می‌دهد.

بردار $\underline{u}$ و $\underline{i}$ در اینجا زاویهٔ فاز $\varphi = \varphi_0$ را تشکیل می‌دهند.

در اینجا بردار $\underline{u}$ از بردار $\underline{i}$ در هنگام چرخش جلو افتاده است.

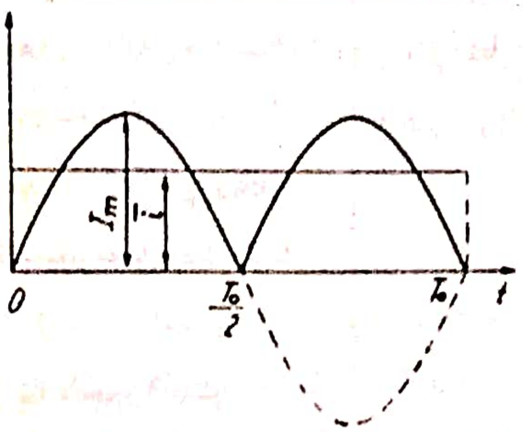
بعد از گذشت زمان t بردار ولتاژ با محور اصلی زاویهٔ $\alpha = wt + \varphi_0$ را می‌سازد که مقدار حداکثر ولتاژ را نشان می‌دهد.



در شکل بالا دیاگرام زمانی یک جریان متناوب سینوسی یکسو شدهٔ نیم موج نشان داده می‌شود. در یک جریان متناوب یکسو شدهٔ نیم موج، یکی از نیم سیکلهای یک موج متناوب که در اینجابصورت نقطه‌چین مشخص شده است، حذف می‌گردد. به عبارتی تناوب منفی بصورت تناوب مثبت نشان داده می‌شود.

میزان شدت جریان از طریق محاسبهٔ مقدار متوسط عددی کمیت سینوسی یکسو شدهٔ نیم موج بدست می‌آید.

مقدار متوسط عددی (Ī) در حدود ۶۳/۷ درصد دامنهٔ کمیتهای سینوسی یکسو شدهٔ نیم موج را شامل می‌گردد.

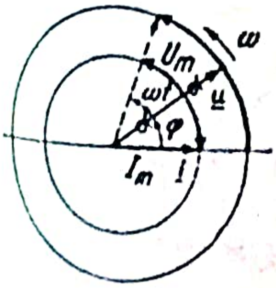


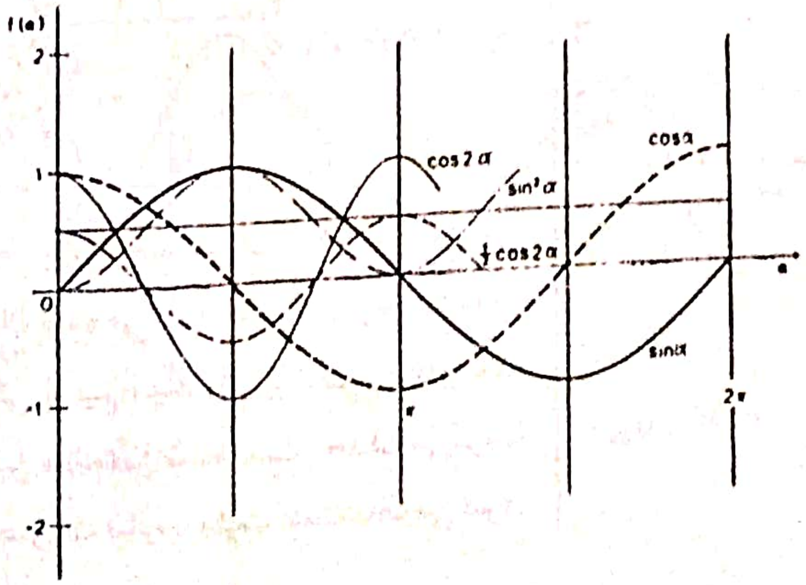
مقدار متوسط عددی

مقدارمتوسط عددی

شدت جریان یک جریان متناوب از طریق محاسبهٔ جریان متناوب سینوسی یکسوشدهٔ نیم موج بدست می‌آید. دردیاگرام‌زمانی بامیزان‌ارتفاع مربع مستطیل زیرمنحنی سینوسی یکسوشدهٔ نیم‌موج متناسب است.

بطور کلی جذر مقدار میانگین مربعات را «مقدار موثر» می‌نامند.





مقدار موثر	اگر مقدار میانگین در یک پریود محاسبه گردد، در آن صورت برابر با جذر مقدار متوسط $\overline{\text{Sin}^2\alpha}$ می‌شود. بنابراین می‌توان نوشت: $\text{Sin}^2\alpha = \frac{1}{2}(1 - \text{Cos}\,\alpha) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2}\text{Cos}\,2\alpha$ $\overline{\text{Sin}\,\alpha} = 0, \overline{\text{Sin}\,2\alpha} = 0, \overline{\text{Cos}\,\alpha} = 0, \overline{\text{Cos}\,2\alpha} = 0,$ $\text{Sin}^2\,\alpha = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2}$ با مجذور کردن، علامت منفی حذف می‌گردد. مقدار موثر تقریباً ۷۰/۷ درصد مقدارماکزیمم (پیک) را شامل می‌شود.
مقدار موثر	یک جریان متناوب، مقدار جریان مستقیمی است که همان اثر گرمائی را ایجاد می‌کند که جریان متناوب تولید کرده است. (مقدار موثر جریان را R.M.S نیز می‌نامند).

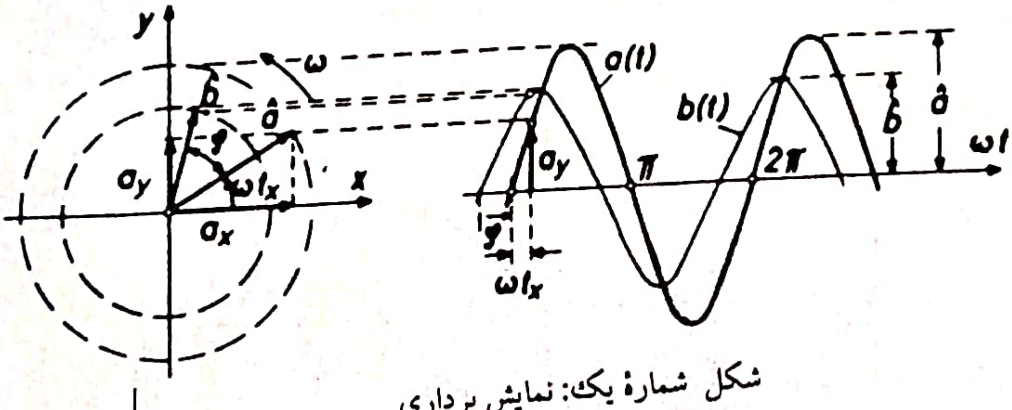
«نمایش برداری کمیتهای متناوب»

اگر در یک سیستم محور مختصات قائم‌الزاویه که محورهای آن X و Y می‌باشند، بردار طولی â حول نقطهٔ مبدأ با یکنواخت w رادیان بر ثانیه در جهت عکس حرکت عقربهٔ ساعت (جهت مثبت) بچرخد، در آن صورت â با محور X زاویهٔ wt را می‌سازد که بتریج بطور خطی افزایش می‌یابد. بطور مثال در لحظهٔ tx زاویهٔ wtx را تشکیل می‌دهد. تصویر بردار طولی â نیز روی محور Y در هر لحظه aY = â Sin wt و روی محور X برابر ax = â Cos wt می‌باشد. در نتیجه همانطورکه در شکل شمارهٔ ۱ نشان داده می‌شود، یک کمیت متناوب متغیر زمانی توسط یک بردار که با فرکانس زاویه‌ای w می‌چرخد، نمایش داده می‌شود بطوریکه تصویر آن روی یک محور زمانی مشخص در هرلحظه را بدست می‌دهد. بدین ترتیب می‌توان از این روش بمنظور نمایش برداری کمیتهای متناوب استفاده کرد.

سرعت زاویه‌ای

سینوسی

مقدار لحظه‌ای



شکل شمارهٔ یک: نمایش برداری

کمیتهای متناوبی را که دارای اختلاف فاز φ هستند می‌توان

روی یک نمایش داد. بدین ترتیب که تصور کنیم یکایک بردارها با w یا محور زمان با -w در حال چرخش هستند. چنین بردارهائی را می‌نامند.

از آنجائیکه عملاً در درجهٔ اول مقدار موثر مورد توجه می‌باشد، بنابراین نه تنها طول بردار ولتاژ یا جریان با $\hat{I}$ یا $\hat{U}$ یکسان نمی‌گردد، بلکه اگر بخصوص مشخص نشده باشد، با مقادیر موثر I و U کوچکتر که در حدود $\frac{1}{\sqrt{2}}$ است، برابر می‌گردد. کمیتهای برداری در اینجا بصورت کمیتهائی که در زیر آنها خط کشیده شده، نشان داده می‌شود.

بنابراین در مورد این مقادیر صدق می‌کند:

$U = |\underline{U}|$ و $|\underline{I}| = I$

در نتیجه یک کمیت متناوب را می‌توان مستقیماً براساس مقدارموثر و فاز روی یک دیاگرام برداری نمایش داد و مقادیر لحظه‌ای یک کمیت متناوب سینوسی را نیز می‌توان با تصویر بردار زمان روی محور زمان و ضرب کردن در $\sqrt{2}$ بدست آورد. بنابراین وضعیت محور زمان (زاویه wtx در شکل یک) با توجه به زاویهٔ فاز و لحظهٔ شروع مشخص می‌شود و می‌توان با توجه به شکل یک نتیجه‌گیری کرد که با جمع کمیتهای متناوب را بصورت هندسی بدست آورد. پس بطور کلی می‌توان نوشت:

$\underline{U} = \underline{U_1} + \underline{U_2}$ و $U = |\underline{U}| = |\underline{U_1} + \underline{U_2}| \neq U_1 + U_2.$

دیاگرام برداری -

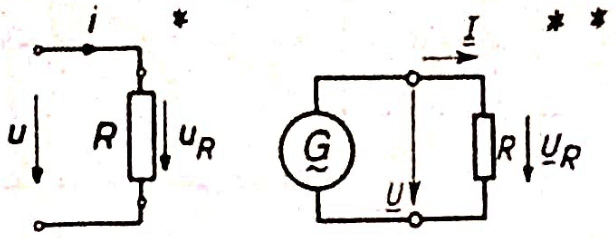
سرعت زاویه‌ای -

سرعت زاویه‌ای -

بردار زمان

مقادیر ماکزیمم

مقادیر موثر

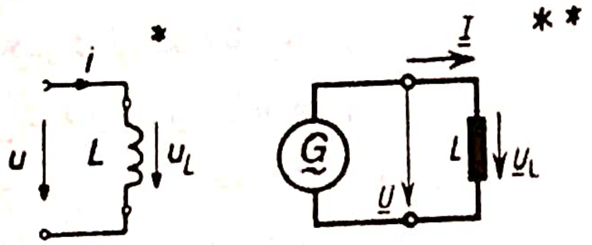


در اینجا تصویر مدار معادل یک مدار جریان دیده می‌شود.
علامت ~ بدان معناست که ولتاژ متناوبی در مدار جریان اعمال می‌شود پس شکل بالا مدار معادل یک
را نشان می‌دهد.

مدار جریان‌متناوب

به این مدار جریان، یک مقاومت اهمی بسته شده است که
یک دو قطبی می‌باشد.

پاسیو



در تصویر بالا مدار معادل یک نشان داده می‌شود.

مدارجریان متناوب

به این مدار یک سیملوله با اندوکتانس L بسته شده است.
سیملوله با L در هر دو مدارهای معادل بطور متفاوت نشان داده می‌شوند.

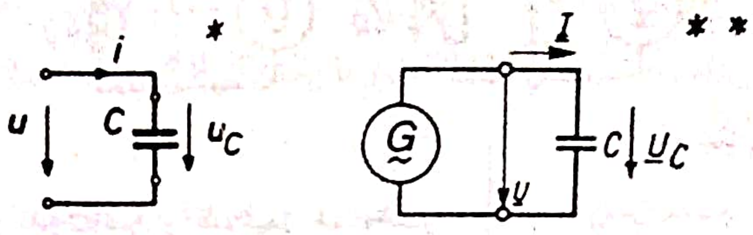
اندوکتانس

سیملوله با L در مدار جریان متناوب، یک دو

اندوکتانس

* نمایش قدیم ** نمایش جدید

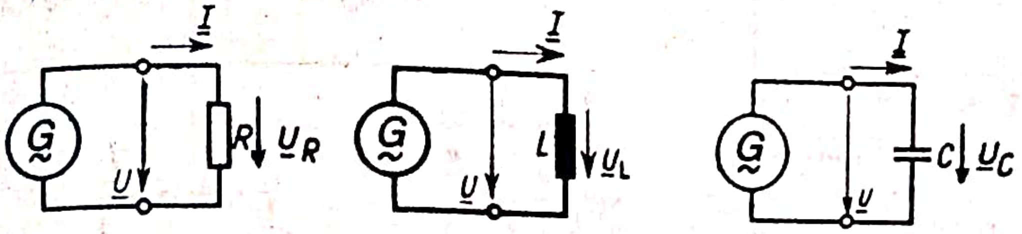
قطبی مصرف کننده می‌باشد که مشخصهٔ اکتیوش را فقط در صورت وجود اختلاف فاز نشان می‌دهد.



متن	حاشیه
در اینجا تصویر مدار معادل یک ،دیده می‌شود.	مدار جریان متناوب
به این مدار، یک خازن با ظرفیت C بسته شده است.	
خازن با C در مدار جریان متناوب، یک دو قطبی مصرف کننده می‌باشد که مشخصهٔ اکتیوش را فقط در صورت وجود اختلاف فاز نشان می‌دهد.	ظرفیت

* نمایش قدیم

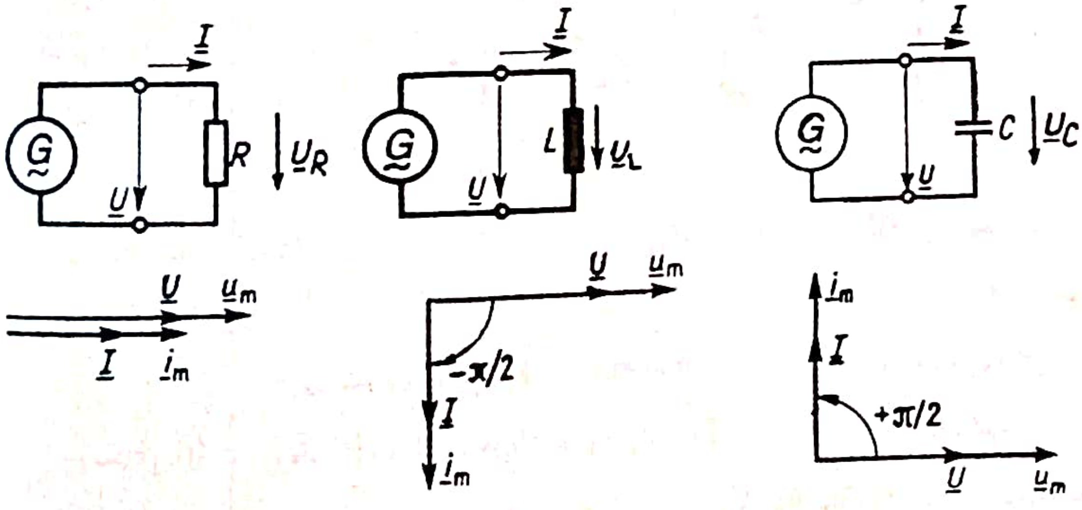
** نمایش جدید



یک مقاومت اهمی دارای اندوکتانس و ظرفیت مشخصی می‌باشد اما میزان آنها آنقدر کم است که قابل توجه نیست بنابراین فقط مشخصهٔ اصلی مقاومت اهمی مورد توجه قرار می‌گیرد.

در اینجا سیملوله دارای مقاومت اهمی و ظرفیت مشخصی است که میزان آنها نیز قابل توجه نمی‌باشد.

همچنین خازن هم دارای مقاومت اهمی و اندوکتانس مشخصی است که میزان آنها قابل توجه نیست.



مقاومت اهمی یک اِلمان پاسیو خالص است و ولتاژ دو سر مقاومت با جریان عبوری از آن هم فاز می‌باشد.

سیملوله یک اِلمان پاسیو - اکتیو مختلط است و به همین جهت نیز جریان و ولتاژ هم فاز نیستند و در صورت ایده‌آل بودن سیملوله حدود ۹۰ درجه با یکدیگر اختلاف فاز دارند.	
خازن یک اِلمان .... است و به همین علت نیز جریان و ولتاژ هم فاز نیستند و با یکدیگر ۹۰ درجه اختلاف فاز دارند.	پاسیو-اکتیو مختلط
بنابراین سیملوله و خازن برخلاف مقاومت اهمی، اِلمانهائی .... می‌باشند.	پاسیو-اکتیو مختلط

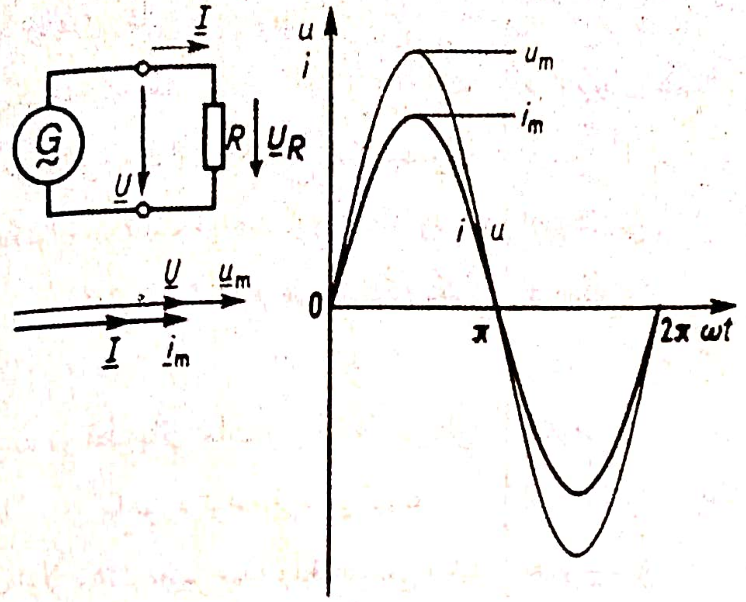
«دوقطبی در جریان متناوب سینوسی»

بطور کلی همهٔ اِلمانهائی که فقط دارای دو ترمینال هستند «دو قطبی» شناخته می‌شوند و در صورتی که ولتاژ الکتریکی تولید نکنند آنها را «دو قطبی پاسیو» می‌نامند. همچنین تاکنون این را می‌دانستیم که در مدارهای جریان الکتریکی یکنواخت مقاومت R فقط به عنوان یک دو قطبی پاسیو شناخته می‌شود. بنابراین از آنجائیکه سیملوله با اندوکتانس L در جریان یکنواخت I باعث ایجاد افت ولتاژ نمی‌گردد و خازن با ظرفیت C نیز در جریان یکنواخت باعث قطع جریان الکتریکی می‌شود، به‌همین جهت مدارهای جریان یکنواخت فقط در خصوص مقاومت R مورد بررسی قرار می‌گیرند.

اما از آنجائیکه تاکنون هرگونه جریان I به یک میدان مغناطیسی وابستگی داشته و تغییر زمانی آن بنا بر قانون اندوکسیون ولتاژ القائی $U_{ind} = Ldi / dt$ - را که به اندوکتانس L وابستگی دارد ایجاد می‌کند، بنابراین بطور کلی از این ولتاژ در جریان متناوب دیگر نمی‌توان صرف‌نظر کرد. وانگهی هرگونه ولتاژ U به یک میدان دی‌الکتریک مربوط می‌شود و تغییر زمانی آن نیز در یک خازن با ظرفیت C باعث تغییر متناسب بار $Q = Cu$ و جریان بار $ic = dQ / dt = Cdu / dt$ می‌گردد بطوریکه میزان آن توسط خازن با ظرفیت C در صورتی تعیین می‌شود که بطور زمانی ثابت بماند.

بنابراین در جریان متناوب سه دو قطبی مقاومت R، سیملوله با اندوکتانس L و خازن با ظرفیت C که رابطهٔ بین ولتاژها و جریانها را تعیین می‌کنند مورد توجه قرار می‌گیرند.

لطفاً به کمک متن بالا جاهای خالی را پر کنید:	
در مدارهای جریان یکنواخت فقط ...... R به	مقاومتهای اهمی
عنوان دوقطبی ...... مورد توجه قرار می‌گیرند زیرا سیملوله	پاسیو
با ...... L در جریان یکنواخت ثابت I باعث ایجاد افت ولتاژ	اندوکتانس
نمی‌گردد و خازن با ...... C نیز باعث قطع جریان الکتریکی	ظرفیت
می‌شود.	
در مدار جریان متناوب دو قطبیهائی مانند ...... R، سیملوله	مقاومت ـ
با ...... L و خازن با ...... C مورد توجه قرار می‌گیرند.	اندوکتانس ـ ظرفیت
...... جریان اولاً باعث تغییر میدان مغناطیسی شده	تغییر زمانی
بطوریکه بنا بر قانون اندوکسیون ولتاژی تولید می‌شود که به	
اندوکتانس L وابستگی دارد و دوماً سبب تغییر میدان	دی‌الکتریک
می‌شود که این نیز به‌تغییر متناسب ...... و ...... در خازن	بار ـ جریان بار
منجر می‌گردد.	



به این مدار جریان متناوب یک مقاومت اهمی با اندوکتانس و ظرفیت قابل صرف نظر بسته شده است.

اگر روی ترمینالها ولتاژ متناوب $u = U_m \sin wt$ اعمال گردد، در آن صورت بنا بر قانون اهم جریان $i = \frac{u}{R} = \frac{U_m}{R} \sin wt$ برقرار می‌شود.

دیاگرام برداری و خطی نشان می‌دهد که جریان و ولتاژ هستند.

هم فاز

زاویهٔ فاز φ در اینجا برابر صفر است و مقاومت در این حالت مقاومت موثر R نامیده می‌شود.

بنابراین درمدار جریان متناوب مقاومتی را که در آن جریان و ولتاژ هم فاز هستند،   R می‌نامند.

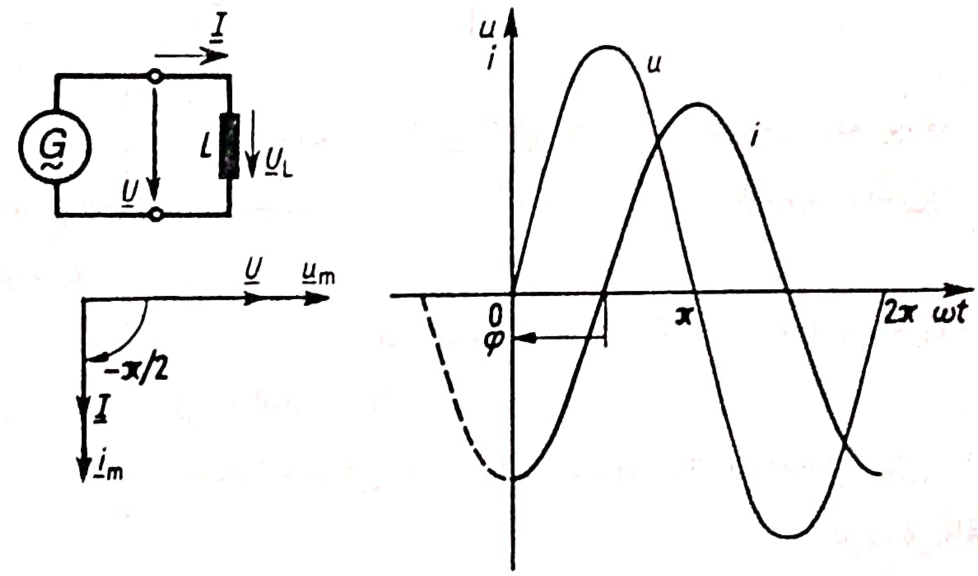
مقاومت موثر

مقاومت اهمی در مدار جریان متناوب، یک   می‌باشد.

مقاومت موثر

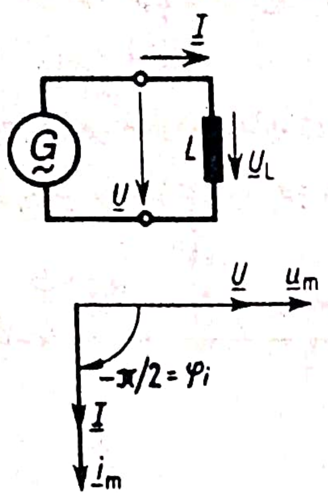
بطور کلی مقدار معکوس یک مقاومت را هدایت G می‌نامند.

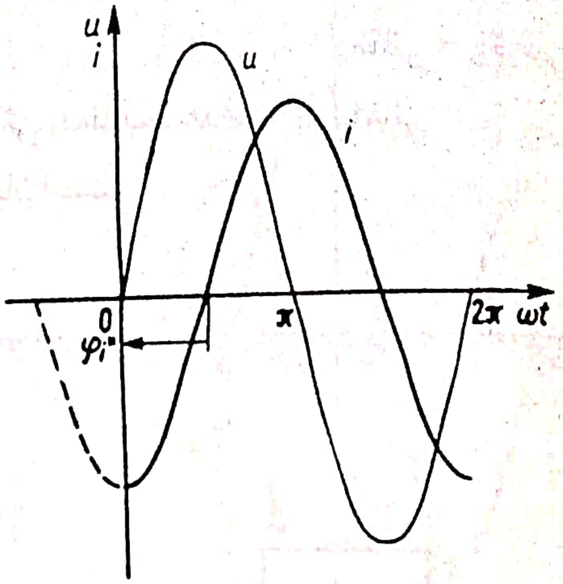
هدایت	بنابراین در مورد G می‌توان نوشت: $G = \frac{1}{R}$
مقدار هدایت موثر	اگر مقاومتی، یک مقاومت موثر باشد در آن صورت مقدار هدایت مربوط به آن مقدار هدایت موثر G نامیده می‌شود. در مورد G معتبر است : $G = \frac{1}{U}$
مقدار هدایت موثر	در مدار جریان متناوب G برابر است با خارج قسمت شدت جریان به ولتاژ.



اندوکتانس	به این مدار جریان متناوب، سیملوله با L بسته شده است.
	مقدار مقاومت اهمی و ظرفیت این سیملوله قابل صرف‌نظر می‌باشد.
	سیملوله‌ای که در آن مقاومت اهمی قابل صرف‌نظر باشد، یک سیملولهٔ بدون تلفات است.
	سیملوله با اندوکتانس L را «سلف» نیز می‌نامند.

بنابراین به این مدار سیملولهٔ یایک بسته شده است.	بدون‌تلفات ـ سلف ایده‌آل





به این مدار یک سیملوله با اندوکتانس L بسته شده است.

این یک سیملولهٔ   یا یک   می‌باشد.

بدون تلفات ـ
سلف ایده‌آل

در مورد اندوکتانس ثابت L می‌توان نوشت:

$$U_L = I\omega L = IX_L$$

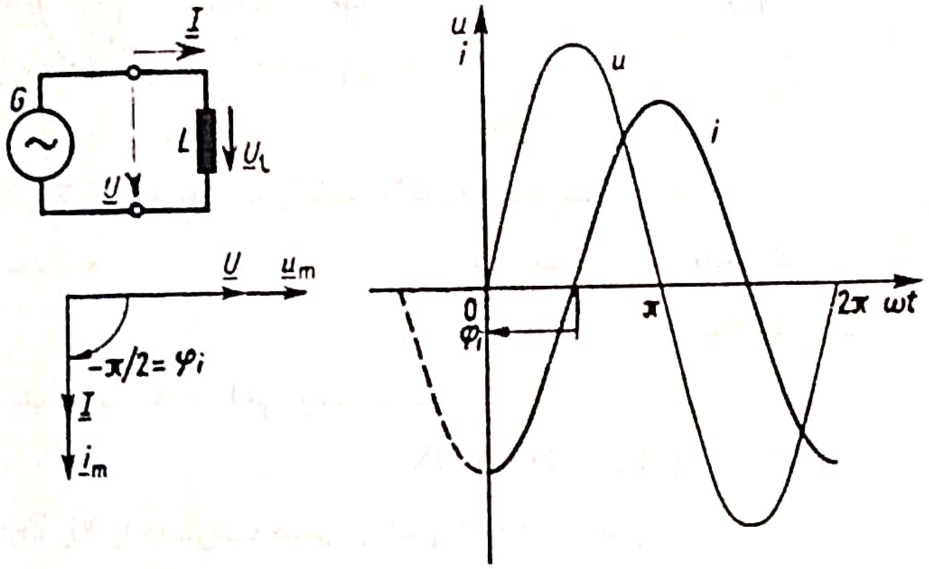
در این رابطهٔ X_L را «مقاومت ظاهری القائی» یا «راکتانس القائی» می‌نامند.

دیاگرام برداری و خطی نشان می‌دهد که در مدار جریان متناوب ولتاژ سیملوله از جریان به اندازهٔ ۹۰ درجه جلو افتاده است و این بستگی به آن دارد که ولتاژ خودالقائی با ولتاژ ترمینال منبع مخالفت کند.

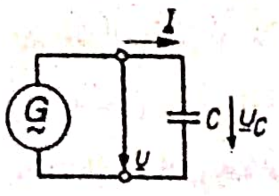
مقاومتی را که در آن جریان با ولتاژ به اندازهٔ ۹۰ درجه اختلاف فاز داشته بطوریکه ولتاژ از جریان جلو بیافتد «مقاومت ظاهری القائی» یا « راکتانس القائی» می‌نامند.

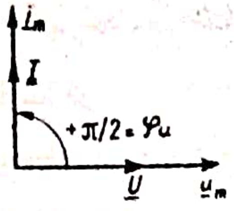
(X_L را راکتانس سلفی نیز می‌نامند).

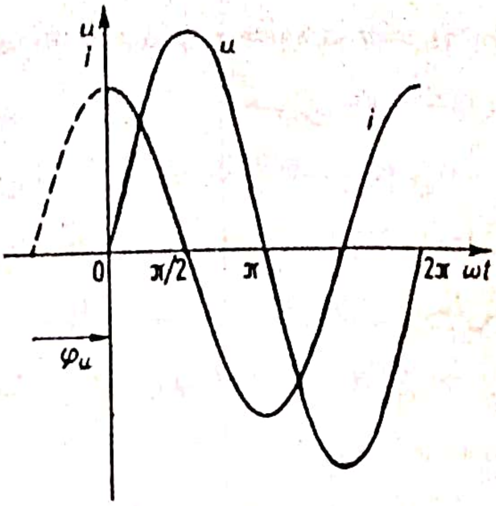
بنابراین می‌توان نوشت: $I = \frac{U}{X_L}$ جریان سیملوله برابر با خارج قسمت ولتاژ به یا است. مقدار معکوس مقاومت ظاهری القائی را «قابلیت هدایت بی‌اثر القائی» می‌نامند(α_i زاویهٔ فاز جریان است).	مقاومت ظاهری القائی - راکتانس القائی



در اینجا دیاگرام زمانی و برداری نشان می‌دهد که ولتاژ از جریان در سلف به میزان ۹۰ درجه جلو افتاده است. مقدار معکوس مقاومت ظاهری القائی را B_L می‌نامند. B_L در مدار جریان متناوب با مقدار معکوس منفی مقاومت ظاهری القائی X_L یک سلف متناسب می‌باشد.	قابلیت هدایت بی‌اثر القائی - قابلیت هدایت بی‌اثر القائی







به این مدار یک خازن با ظرفیت C بسته شده است.

این یک خازن بدون تلفات یا ایده‌آل است.

اگر روی مدار ولتاژ متناوبی اعمال گردد در آن صورت الکترودهای خازن به تناوب باردار و بی‌بار می‌شوند و خازن مانند یک مقاومت عمل می‌کند.

این مقاومت را «مقاومت ظاهری خازنی» یا «راکتانس خازنی» X_C می‌نامند.

مقاومت ظاهری خازنی

در مورد X_C معتبر است:

$$X_C = \frac{1}{wc} = \frac{1}{2\pi fc}$$

مقاومت ظاهری خازنی - راکتانس خازنی

یا X_C مقاومت خازن در مقابل عبور جریان می‌باشد بطوریکه با آن مخالفت می‌کند.

مقاومت ظاهری خازنی X_C با ظرفیت خازن و فرکانس f

نسبت معکوس دارد.	
راکتانس خازنی X_C را «کاپاسیتیو» نیز می‌نامند. در X_C جریان و ولتاژ هم‌فاز نیستند و جریان از ولتاژ به اندازهٔ ۹۰ درجه جلو افتاده است. به عبارتی می‌توان گفت: در X_C ولتاژ از جریان به اندازهٔ ۹۰ درجه عقب افتاده است و این بستگی به آن دارد که در هنگام باردار شدن (پُر یا شارژ) تدریجی خازن میزان ولتاژ افزایش یابد و در هنگام بی‌بار شدن (خالی یا دشارژ) خازن دوباره بتدریج از میزان ولتاژ کاسته گردد.	مقاومت ظاهری خازنی راکتانس‌خازنی
بنابراین اگر در مقاومتی جریان از ولتاژ به میزان ۹۰ درجه عقب بیافتد، در آن صورت آن مقاومت را یک یا می‌نامند و در صورتی که ولتاژ از جریان به میزان ۹۰ درجه عقب بیافتد، یک یا نامیده می‌شود.	مقاومت ظاهری القائی ـ راکتانس القائی مقاومت ظاهری القائی ـ راکتانس‌القائی
مقدار معکوس مقاومت ظاهری خازنی X_C را «قابلیت هدایت بی‌اثر خازنی» B_C می‌نامند. بنابراین در مورد B_C معتبر است: $B_C = wc = 2\pi fc$ B_C برابر است با حاصلضرب سرعت زاویه‌ای $w = 2\pi f$ در ظرفیت C.	قابلیت هدایت بی‌اثر خازنی قابلیت هدایت بی‌اثر خازنی

در مدار جریان متناوب سیملوله با اندوکتانس L و خازن با ظرفیت C دو قطبی‌های ______ می‌باشد. اگر جریان در یک دوقطبی از ولتاژ ترمینال عقب بیافتد، آن دوقطبی را القائی می‌گویند و در صورتی که جریان از ولتاژ ترمینال جلو بیافتد آن دوقطبی را خازنی می‌نامند. بنابراین در مدار جریان متناوب، یک سیملوله، بدون تلفات (ایده‌آل) با ظرفیت قابل صرف‌نظر را یک دوقطبی ______ می‌نامند و یک خازن بدون تلفات (ایده‌آل) با اندوکتانس قابل صرف‌نظر یک دوقطبی ______ نامیده می‌شود.	مختلط پاسیو - اکتیو القائی خازنی
در یک مدار جریان متناوبی که دارای مقاومت، سلف و خازن واقعی (غیر ایده‌آل) می‌باشد، اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ به میزان متفاوت مقاومت موثر R، اندوکتانس L و ظرفیت C بستگی دارد به همین جهت این اختلاف فاز بین منفی ۹۰ درجه و مثبت ۹۰ درجه تغییر می‌کند. بطور کلی مجموع این مقاومتها را مقاومت ظاهری Z مدار یا امپدانس می‌نامند.	
در مورد مقاومت ظاهری Z معتبر است: $Z = \frac{U}{I}$ بنابراین اگر اختلاف فاز φ_z بین ولتاژ و جریان مابین منفی ۹۰ درجه و مثبت ۹۰ درجه در نوسان باشد، ______ یا Z برابر با خارج قسمت مقدار موثر ولتاژ به مقدار موثر جریان متناوب می‌شود. عکس مقدار امپدانس یک مدار را «قابلیت هدایت بی‌اثر» یا «ادمیتانس» آن مدار می‌نامند که با علامت Y آنرا نشان می‌دهند.	امپدانس - مقاومت ظاهری

بنابراین در مورد نوشت:	یا	Y می‌توان $Y = \frac{1}{Z}$	ادمیتانس ـ قابلیت هدایت بی‌اثر

«دوقطبی پاسیو جریان متناوب»

بطور کلی در دوقطبی‌های جریان متناوب که دارای مقاومت موثر R ، اندوکتانس L و ظرفیت C می‌باشند، زاویهٔ فاز بین صفر، منفی ۹۰ درجه و مثبت ۹۰ درجه است. بنابراین در مدارهائی که دارای سه اِلمان مقاومت موثر R، سیموله با اندوکتانس L و خازن با ظرفیت C هستند، زاویهٔ فاز بین ولتاژ و جریان‌می‌تواند دارای‌میزان $-90^\circ \leqq \varphi_Y \leqq 90^\circ$ باشد. پس اگر یک چنین مدار مختلطی را به عنوان یک در نظر بگیریم، در آن صورت زاویهٔ فاز بین ولتاژ و جریان این دوقطبی می‌تواند مابین ۹۰ درجه و مثبت ۹۰ درجه قرار گیرد.

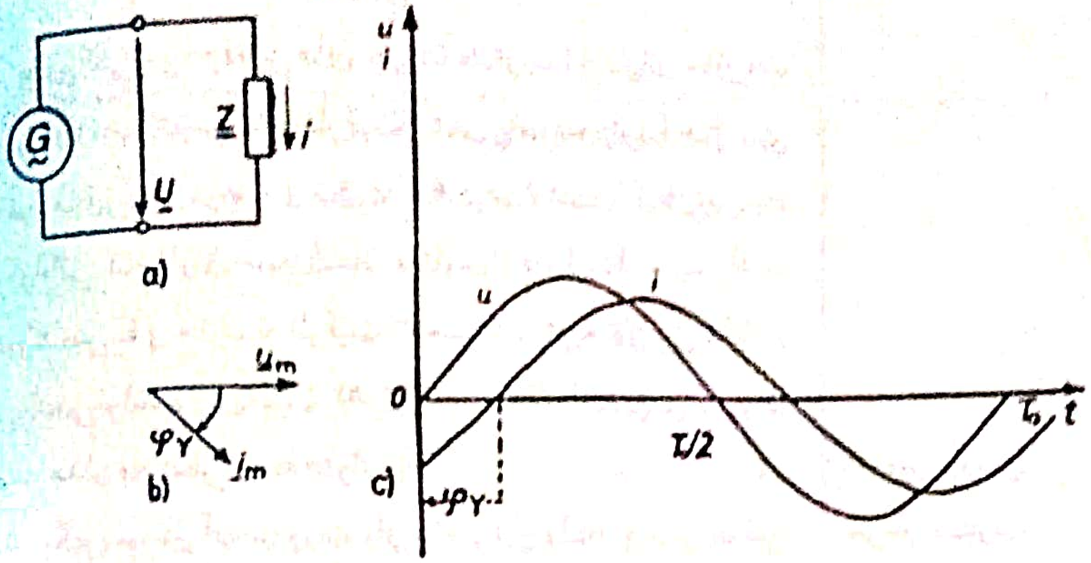
دوقطبی پاسیو جریان متناوب -

اگر بخواهیم عملکرد این دوقطبی را بنابر قانون اهم بررسی کنیم، در آن صورت باید در اینجا این مقاومت موثر ظاهری جریان متناوب $Z = \frac{U}{I}$ (1) را به عنوان مدار بپذیریم و مقدار معکوس این مقاومت ظاهری را $Y = \frac{1}{Z} = \frac{I}{U}$ (2) بنامیم.

مقاومت ظاهری -
قابلیت هدایت
بی‌اثر

اکنون ما در اینجا خصوصیات این مقاومت ظاهری Z را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

ولتاژ، جریان و زاویهٔ فاز

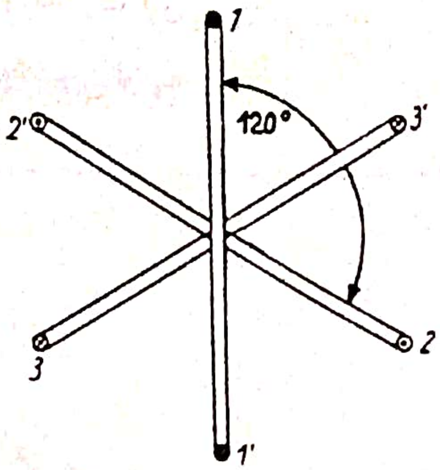


شکل ۱: مقاومت ظاهری Z روی ولتاژ متناوب سینوسی

a) مدار b) دیاگرام برداری ولتاژ U_m و جریان i_m c) دیاگرام زمانی ولتاژ U و جریان i

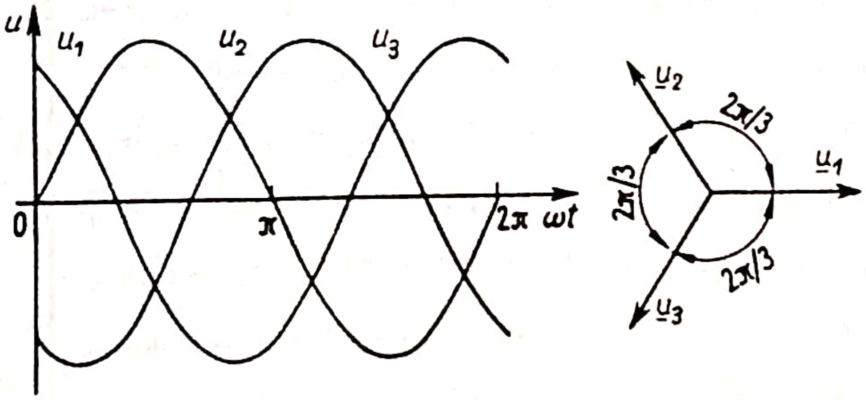
مطابق تصویر شمارهٔ ۱ مقاومت ظاهری Z روی ولتاژ سینوسی متناوب U قرار دارد بصورتی که مانند دیگر دوقطبیهای جریان متناوب، جریان سینوسی i را بوجود می‌آورد و دارای زاویهٔ φY می‌باشد که می‌تواند بین °۹۰- و °۹۰+ قرار گیرد. در تصویر ۱b و c زاویهٔ فاز °۴۵ = φY نشان می‌دهد که در اینجا جریان i از ولتاژ U به میزان °۴۵ عقب افتاده است. امپدانس یا مقاومت ظاهری Z در این حالت از نظر اختلاف فاز دارای خصوصیاتی است که بین خصوصیات مربوط به مقاومت موثر R و اندوکتانس L قرار می‌گیرد که در نتیجه می‌توان نتیجه‌گیری کرد که هر دو این اِلمانهای مقاومت و سلف در مدار وجود دارند.

به عبارتی دیگر می‌توان گفت: مقاومت ظاهری مدار در این حالت دارای خاصیت القائی یا سلفی می‌باشد.



در اینجا سه سیم‌پیچ ۱ و ۲ و ۳ از نظر مکانی به اندازهٔ ۱۲۰ درجه از یکدیگر فاصله دارند. اگر این سه سیم‌پیچ در یک میدان مغناطیسی همگن با سرعت زاویه‌ای ثابتی بچرخند، در آن صورت در هر لحظه ولتاژهای مختلفی القا می‌شود که با یکدیگر ۱۲۰ درجه اختلاف فاز پیدا می‌کنند.

در اینجا چنین ولتاژی را «ولتاژ متناوب سه‌فاز» می‌نامند.



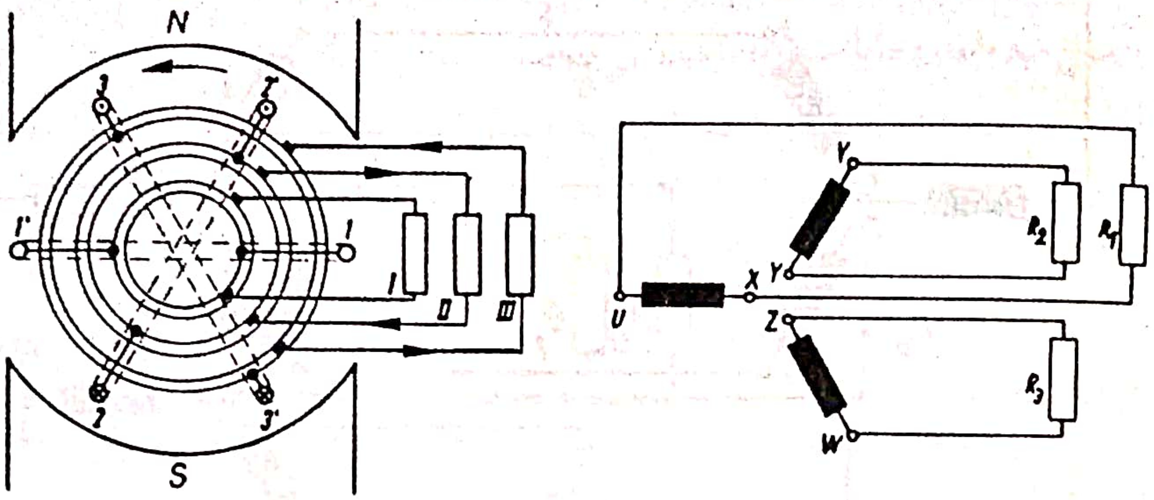
ولتاژ متناوب سه فاز - ۱۲۰ درجه

در شکل بالا دیاگرام زمانی و برداری یک نشان داده می‌شود.

ولتاژهای القا شده در هر یک از سیم‌پیچها با یکدیگر اختلاف فاز دارند.

ولتاژ متناوب سه فاز

در میزان اختلاف فاز زمانی متناسب با تعداد سیم‌پیچها تعیین می‌گردد.



اگر به سیملوله‌هائی که در آنها ولتاژ متناوب سه‌فاز القا می‌شود، سه مقاومت اهمی یکسان به عنوان مصرف‌کننده بسته شود، در آن صورت می‌توان سه مدار جریان متناوب مستقل بدست آورد.

روی این مدارهای جریان متناوب، سه جریان i_1، i_2 و i_3 عبور می‌کند که دارای فرکانس و مقدار موثر یکسانی هستند.

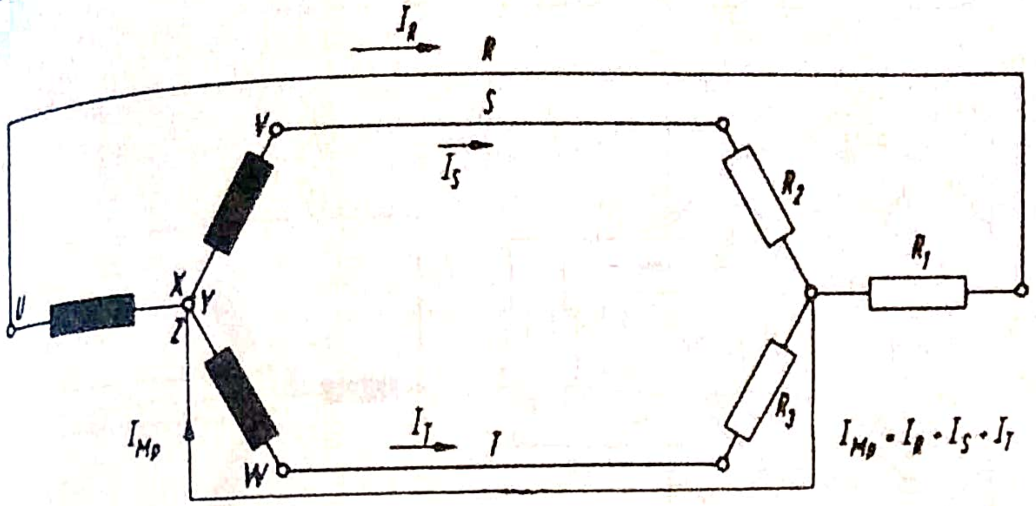
این سه جریان که ۱۲۰ درجه الکتریکی با یکدیگر اختلاف فاز دارند، سه جریان متناوب سینوسی می‌باشند.

این سه جریان متناوب سینوسی را «جریان متناوب سه‌فاز» نیز می‌نامند.

جریانهای متناوب سه فاز

باتوجه به می‌توان پی‌برد که سه جریان متناوب سینوسی که ۱۲۰ درجه الکتریکی با یکدیگر

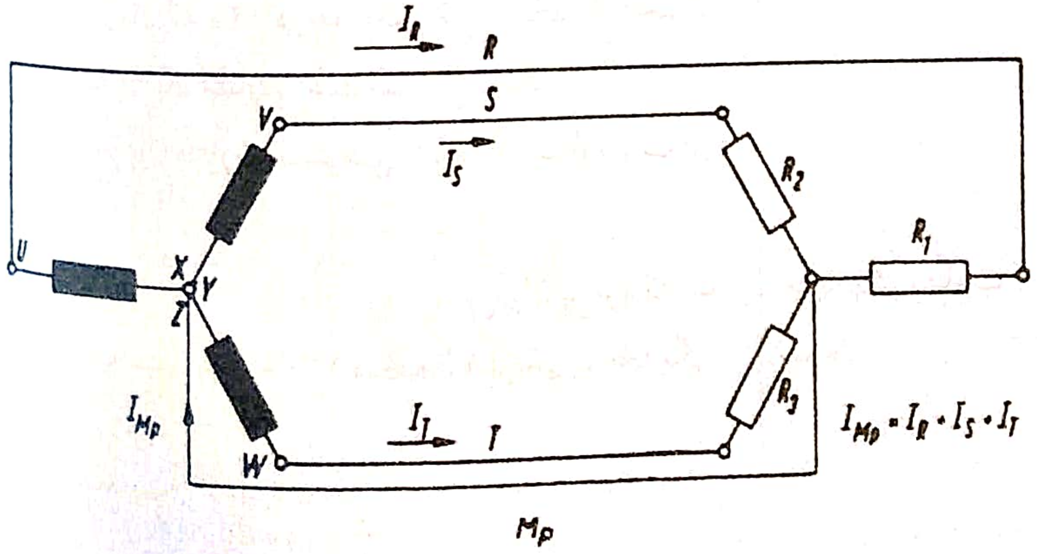
اختلاف فاز دارند، دارای فرکانس و مقدار موثر یکسانی هستند.



در این مدار سیم‌پیچهای UX، VY و WZ به یکدیگر متصل شده‌اند.

همچنین سه مصرف کننده مطابق تصویر به یکدیگر اتصال دارند.

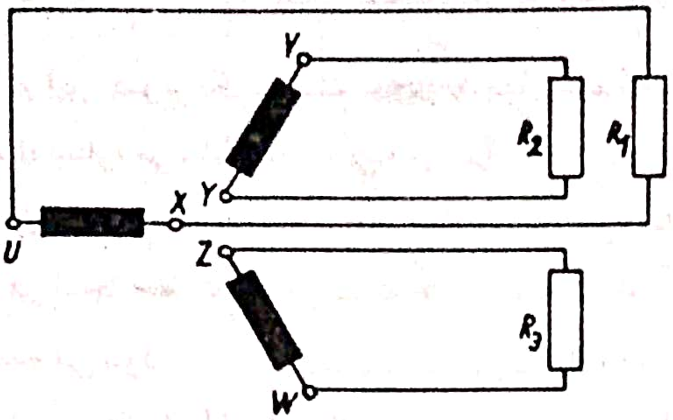
در اینجا امکان اتصال سیم‌پیچها XU، VY و WZ وجود دارد زیرا مجموع ولتاژهای لحظه‌ای این سیستم سه‌فاز در هر نقطهٔ زمانی دلخواه برابر صفر است.

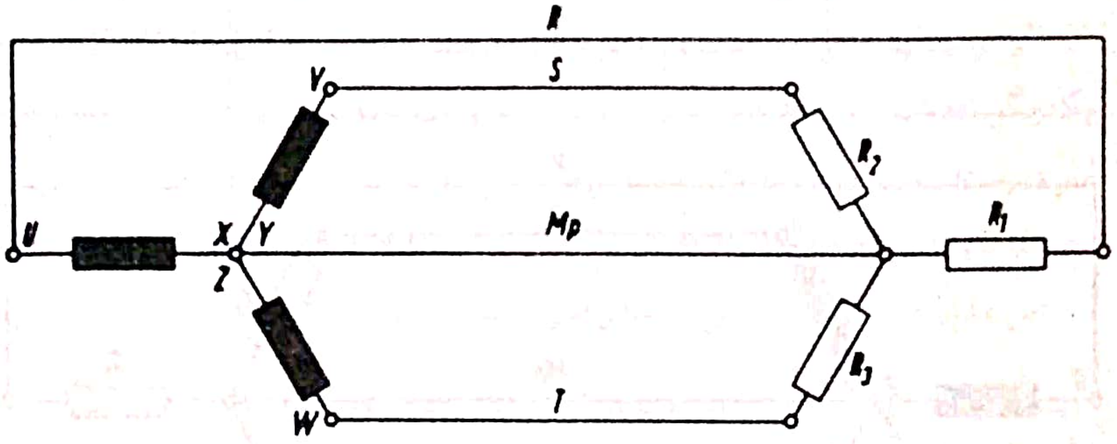


در اینجا سیم‌پیچها UX،VY و WZ یک سیستم سه‌فاز به یکدیگر اتصال دارند.

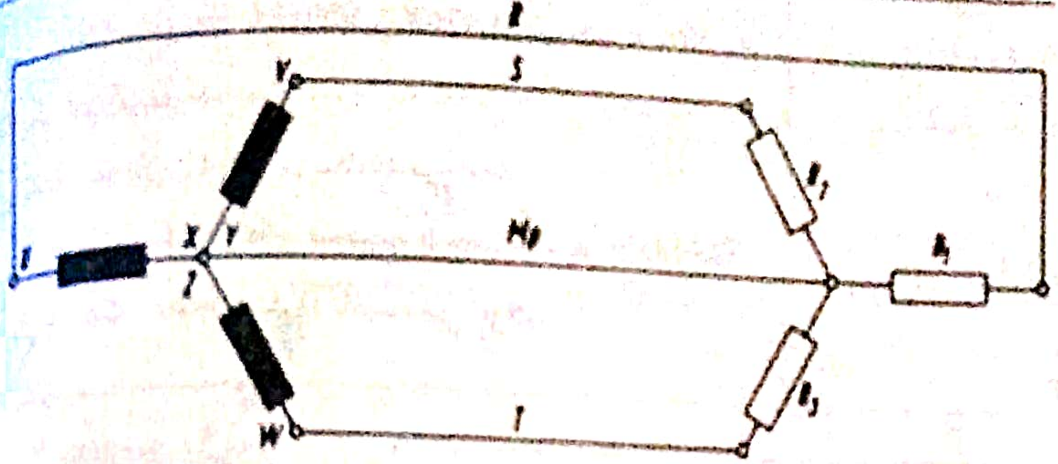
این اتصال سه‌فاز را «اتصال ستاره» می‌نامند.

هر دو نقاطی که سرهای سیم‌پیچ یا مصرف‌کننده‌ها به یکدگر متصل شده‌اند، «نقاط ستاره» نامیده می‌شوند.





اگر ترمینالهای X، Y و Z به یک متصل شوند و سه مصرف‌کننده نیز به یک متصل گردد، در آن صورت می‌توان بجای سه سیم برگشتی که در نقطهٔ ستاره به یکدیگر متصل می‌شوند، فقط از یک سیم (MP) استفاده گردد.	نقطهٔ ستاره نقطهٔ ستاره
این سیم را «سیم نول یا خنثی» می‌نامند.	

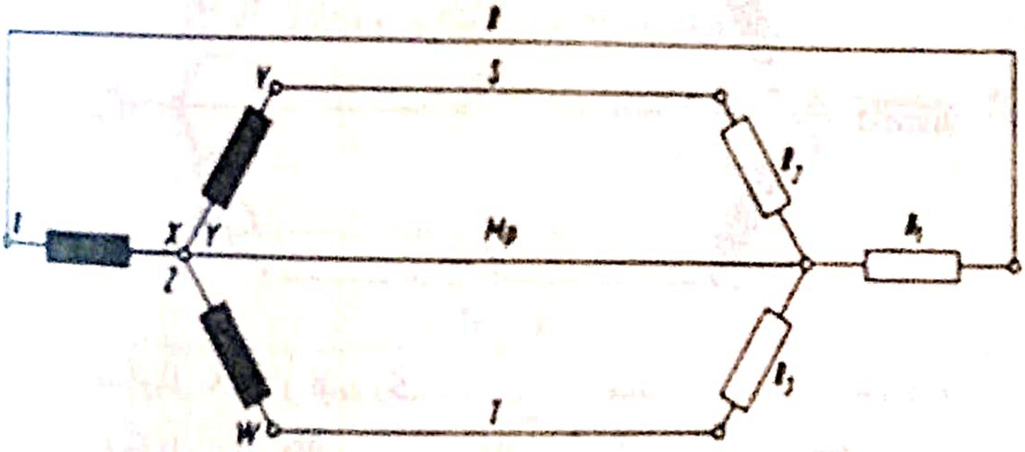


در این تصویر یک سیستم سه‌فاز با چهار سیم که دارای اتصال ستاره می‌باشد، نشان داده می‌شود.

این سیستم را «سیستم سه‌فاز چهار سیمه» می‌نامند.

در اینجا خط اتصال هر دو نقاط ستاره «سیم نول یا خنثی» نامیده می‌شود.

ترمینالهای U، V و W سیم‌پیچها به ترمینالهای آزاد مصرف‌کننده‌ها متصل شده‌اند.



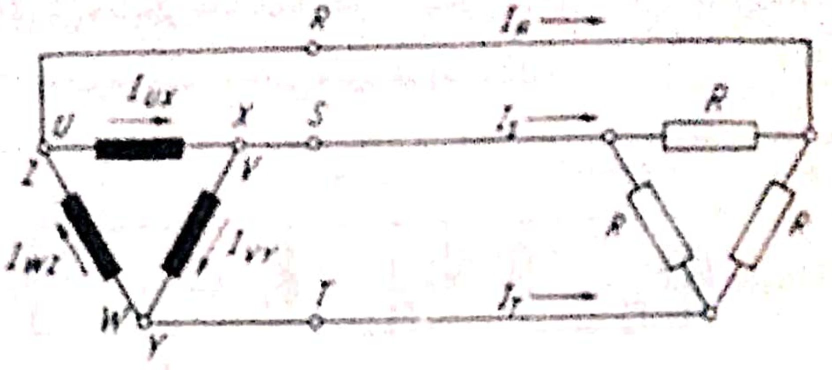
ترمینالهای U، V و W سیملوله‌ها توسط خطوط اصلی R، S و T به ترمینالهای آزاد مصرف‌کننده‌ها متصل شده‌اند.

بنابراین T را یک خط اصلی می‌نامند و MP سیم خنثی یا

سیم صفر نامیده می‌شود.

این سیستم سه‌فاز با اتصال ستاره دارای سه خط اصلی S ،R و T و یک سیم خنثی یا صفر می‌باشد.

این اتصال را یک «اتصال ستارهٔ چهار سیمه» می‌نامند.



در تصویر بالا یک سیستم سه‌فاز که دارای اتصال مثلث است، نشان داده می‌شود.

اگر ترمینالهای هر سه سیم‌پیچ (سرهای غیرمشابه) طوری به یکدیگر اتصال پیدا کنند که هر سه سیم‌پیچ بصورت حلقه بطور سری بسته شوند، یک اتصال مثلث بوجود می‌آید.

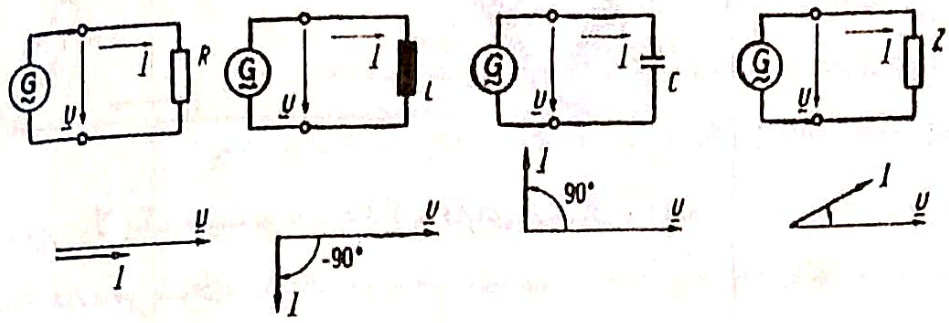
S ،R و T در اینجا خطوط اصلی را تشکیل می‌دهند.

این مدار دارای سیم خنثی یا صفر نمی‌باشد.

«خصوصیات دوقطبی‌های جریان متناوب»

مدار، دیاگرام برداری، مقاومت، زاویهٔ فاز، قدرت و دیگر خصوصیات دوقطبی‌های پاسیو جریان متناوب در جدول شمارهٔ ۱ طوری در کنار قرار گرفته‌اند که می‌توان مشخصه‌های متفاوت آنها را با یکدیگر مقایسه کرد.

جدول ۱: خصوصیات دوقطبی‌های جریان متناوب



	مقاومت مؤثر	اندوکتانس	ظرفیت	
مقاومت مدار هدایت	R $G = 1/R$	$X_L = \omega L$ $B_L = -1/(\omega L)$	$X_C = -1/(\omega C)$ $B_C = \omega C$	$Z = U/I$ $Y = I/U$
قانون اهم	$I = U/R$ $= GU$	$I = U/X_L$ $= -B_L U$	$I = -U/X_C$ $= B_C U$	$I = U/Z$ $= YU$
زاویه فاز ضریب قدرت	$\varphi_Y = 0°$ $\cos\varphi_Y = 1$	$\varphi_Y = -90°$ $\cos\varphi_Y = 0$	$\varphi_Y = 90°$ $\cos\varphi_Y = 0$	$-90° \leqq \varphi_Y \leqq 90°$ $\cos\varphi_Y = P/(UI)$
قدرت مؤثر قدرت راکتیو	$P = UI$ $Q = 0$	$P = 0$ $Q = -UI$	$P = 0$ $Q = UI$	$P = UI\cos\varphi_Y$ $Q = UI\sin\varphi_Y$

رزیستانس = مقاومت R

امپدانس = مقاومت ظاهری Z

راکتانس X
- راکتانس سلفی = راکتانس‌القائی = مقاومت ظاهری القائی X_L
- کاپاسیتیو = راکتانس‌خازنی = مقاومت ظاهری خازنی X_C

ادمیتانس = قابلیت هدایت Y

کاندوکتانس = قابلیت هدایت موثر G

ساسکپتانس = قابلیت هدایت بی‌اثر B
- قابلیت هدایت بی‌اثر القائی B_L
- قابلیت هدایت بی‌اثر خازنی B_C

لطفاً در جاهای خالی از رابطه‌های مناسب استفاده کنید.

- امپدانس ________________

- رزیستانس ________________

- راکتانس القائی ________________

- راکتانس خازنی ________________

- ادمیتانس ________________

- کاندوکتانس ________________

- قابلیت هدایت بی‌اثر القائی ________________

- قابلیت هدایت بی‌اثر خازنی ________________

- امپدانس $Z = U / I$

- رزیستانس $R = U / I$

- راکتانس القائی $X_L = \omega L$

- راکتانس خازنی $X_C = -1 / (\omega C)$

- ادمیتانس $Y = I / U$

- کاندوکتانس $G = 1 / R$

- قابلیت هدایت بی‌اثر القائی $B_L = -1 / (\omega L)$

- قابلیت هدایت بی‌اثر خازنی $B_C = \omega C$

قابلیت هدایت	$Y = I / U$ ادمیتانس یا.................
مقاومت	$R = U / I$ رزیستانس یا ....
مقاومت ظاهری	$Z = U / I$ امپدانس یا ....
مقاومت ظاهری القائی	$X_L = \omega L$ راکتاس القائی یا ....
مقاومت ظاهری خازنی	$X_C = -1\ (\omega C)$ راکتانس خازنی یا ....
قابلیت هدایت موثر	$G = 1 / R$ کاندوکتانس یا ....
قابلیت هدایت بی‌اثر القائی	$B_L = -1 / \omega L$ ....
قابلیت هدایت بی‌اثر خازنی	$B_C = \omega C$ ....

مقاومتهای جریان متناوب

مقاومتهای معادل جریان متناوب

هر مدار جریان که دارای سیملوله‌ای با اندوکتانس L و خازنی با ظرفیت C باشد در اثر عبور جریان یکنواخت بدون تأثیر می‌باشد در صورتی که برعکس در اثر هرگونه تغییر زمانی جریان یا ولتاژ موثر می‌شوند و بنابراین رابطه‌های $iC = C\frac{du}{dt}$ و $u_L = L\frac{di}{dt}$ منجر به وارد شدن ولتاژ اضافی در مدار و جریان اضافی می‌گردد که در جریان یکنواخت وجود ندارد.

به عبارتی در اثر عبور جریان یکنواخت از سیملوله ولتاژ القائی نیز وجود نخواهد داشت در حالیکه در اثر هرگونه تغییر زمانی جریان در سیملوله ولتاژ القا می‌شود. همچنین در خازن نیز در اثر تغییر ولتاژ، جریان نیز تغییر کرده و افزایش می‌یابد.

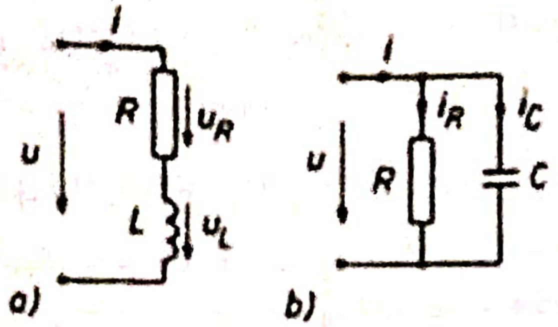
(عموماً کمیتها وابسته به زمان را مانند جریان یا ولتاژ با حروف کوچک نشان می‌دهند).

در مدار مربوط به تصویر 1a از این جهت که $u = u_R + u_L = iR + L\frac{di}{dt}$ می‌باشد، بنابراین صدق می‌کند:

$$i = (u - u_L) / R < u / R$$

در مدار مربوط به تصویر 1b نیز از آنجائیکه $i = iR + iC = \frac{U}{R} + C\frac{du}{dt}$ بنابراین معتبر است:

$$i > u / R$$



تصویر ۱: مدار جریان القائی (a) و
مدار جریان خازنی (b)

بنابراین در مدار معادل می‌توان برای سیملوله با اندوکتانس L، مقاومت معادل X_L را و برای خازن با ظرفیت C، مقدار هدایت معادل B_C را در نظر گرفت.

از آنجائیکه X_L برخلاف مقاومت اهمی، یک مقاومت حقیقی نیست بلکه یک مقاومت ظاهری است بنابراین آنرا   یا   می‌نامند و همچنین B_C نیز   نامیده می‌شود.

مقاومت ظاهری
القائی ـ راکتانس
القائی ـ قابلیت
هدایت بی‌الرخازنی

از آنجائیکه رابطهٔ I / U در یک اتصال سری و رابطهٔ U / I در یک اتصال موازی در مدار جریان متناوب بطور کلی با مقادیر جریان یکنواخت تفاوت دارد به‌همین جهت بنابر قانون اهم در مدار جریان متناوب این رابطه‌ها به فرمهای زیر نوشته می‌شوند:

U / I = Z   ,I / U = Y

در رابطه‌های فوق Z را مقاومت ظاهری یا   می‌نامند

امپدانس

و مقدار معکوس آن قابلیت هدایت یا ادمیتانس نامیده می‌شود که با حرف Y نشان می‌دهند.

در مدار سری جریان متناوب در کنار مقاومت اهمی R می‌توان از مقاومت ظاهری القائی X_L و مقاومت ظاهری خازنی X_C به عنوان إلمانهای مقاومت استفاده کرد. به عبارتی X_L و X_C می‌تواند به عنوان جانشین مقاومت معادل یک سلف یا خازن و یا بجای امپدانس یا مقاومت ظاهری القائی - مقاومت ظاهری خازنی - مقاومت ظاهری Z مدار که همان مقاومت ایجاد شده در مقابل عبور جریان متناوب در مدار می‌باشد، قرار می‌گیرد.

در مدارهای موازی جریان متناوب در کنار هدایت $G = 1 / R$ می‌توان از قابلیت هدایت بی‌اثر القائی B_L و قابلیت هدایت بی‌اثر خازنی B_C به عنوان إلمانهای هدایت استفاده کرد. به عبارتی قابلیت هدایت بی‌اثر القائی - قابلیت هدایت بی‌اثر خازنی - قابلیت هدایت B_L و B_C می‌تواند به عنوان جانشین مقدار هدایت معادل یک سلف و خازن و یا بجای ادمیتانس یا Y که همان هدایت پدید آمده در جریان متناوب می‌باشد، قرار گیرد.

بنابراین بطورکلی مقدار مقاومت یک مقاومت اهمی بزرگتر از همان مقداردر جریان یکنواخت می‌باشدزیرادرجریان متناوب تقسیم چگالی جریان روی سطح مقطع هادی همگن نیست.

یک اختلاف مهم بین یک مقاومت اهمی و یک راکتانس عبارت است از آنکه مقاومت اهمی R به عنوان یک مقاومت حقیقی، یک وسیلهٔ تغییر دهندهٔ انرژی محسوب می‌گردد بطوریکه در اثر عبور جریان الکتریکی از آن، انرژی الکتریکی به انرژی گرمائی تبدیل می‌شود (قانون گرمای ژول). در حالیکه در راکتانس به عنوان مقاومت معادل هیچگونه تبدیل انرژی به صورت انرژی گرمائی ایجاد نمی‌گردد.

سیم‌پیچ چوک

بطور کلی سیم‌پیچ‌ها با هستهٔ آهنی و بدون هستهٔ آهنی در تمام رشته‌های الکتروتکنیک با اهداف مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرند و چنین سیم‌پیچهائی در جریان متناوب مقاومت ظاهری القائی $X_L = wL = 2\pi fL$ را ایجاد می‌کند که وابسته به میزان فرکانس بوده و با آن نسبت مستقیم دارد. سیم‌پیچها به هسته‌های آهنی در مقایسه با سیم‌پیچهائی با هسته‌های هوائی در فرکانسهای پایین دارای میزان مقاومت جریان متناوب بالائی هستند بطوریکه می‌توانند بطور کامل روی جریان تأثیر بگذارند.

«شکل موج جریان روی منحنی مغناطیس شوندگی»

در اینجا ارتباط بین شار مغناطیس Φ و یا چگالی شار مغناطیسی B با جریان تحریک i در صورت وجود یک هستهٔ آهنی توسط منحنی مغناطیس شوندگی نشان داده می‌شود. از آنجائیکه وابستگی بین B و i خطی نیست، بنابراین موج جریان با وجود موج سینوسی شار و ولتاژ می‌تواند شکل سینوسی نداشته باشد. در تصاویر 1a تا C موج جریان روی یک منحنی مغناطیس شوندگی خطی و یک منحنی مغناطیس شوندگی غیرخطی و نیز یک حلقهٔ هیستریزیس پهن نشان داده می‌شود. حالت مربوط به تصویر 1a در مورد یک سیم‌پیچ چوک با هستهٔ هوائی و یا یک سیم‌پیچ چوک با هستهٔ آهنی که فقط بطور ضعیف تحریک شده باشد، پیش می‌آید. در این حالت موج جریان شکل سینوسی دارد. حال اگر هسته از جنس آهن مغناطیس نرم ساخته شده باشد (مانند تصویر 1b)، در نتیجه در صورت تحریک تا حد اشباع، اعوجاج متقارن منحنی جریان بوجود می‌آید. در آن صورت مانند تصویر 1a، در اینجا نیز هیچگونه اختلاف فازی با موج چگالی شار مغناطیسی ایجاد نمی‌شود و هر دو موجها بطور همزمان از میزان صفر عبور می‌کنند. اما اگر سیم‌پیچ چوک دارای هسته‌ای از جنس آهن فرومغناطیس سخت باشد در آن صورت ارتباط بین القاء مغناطیسی B و جریان i بصورت حلقهٔ هیستریزیس پهنی درمی‌آید که در تصویر 1c نشان داده می‌شود. دراین حالت نیز موج جریان هنوز

بطور شدیدتری اعوجاج دارد، هر دو نیم موجهای آن متقارن بوده و با موج القاء مغناطیسی دارای اختلاف فاز می‌باشد.

«تغییر جریان تحریک»

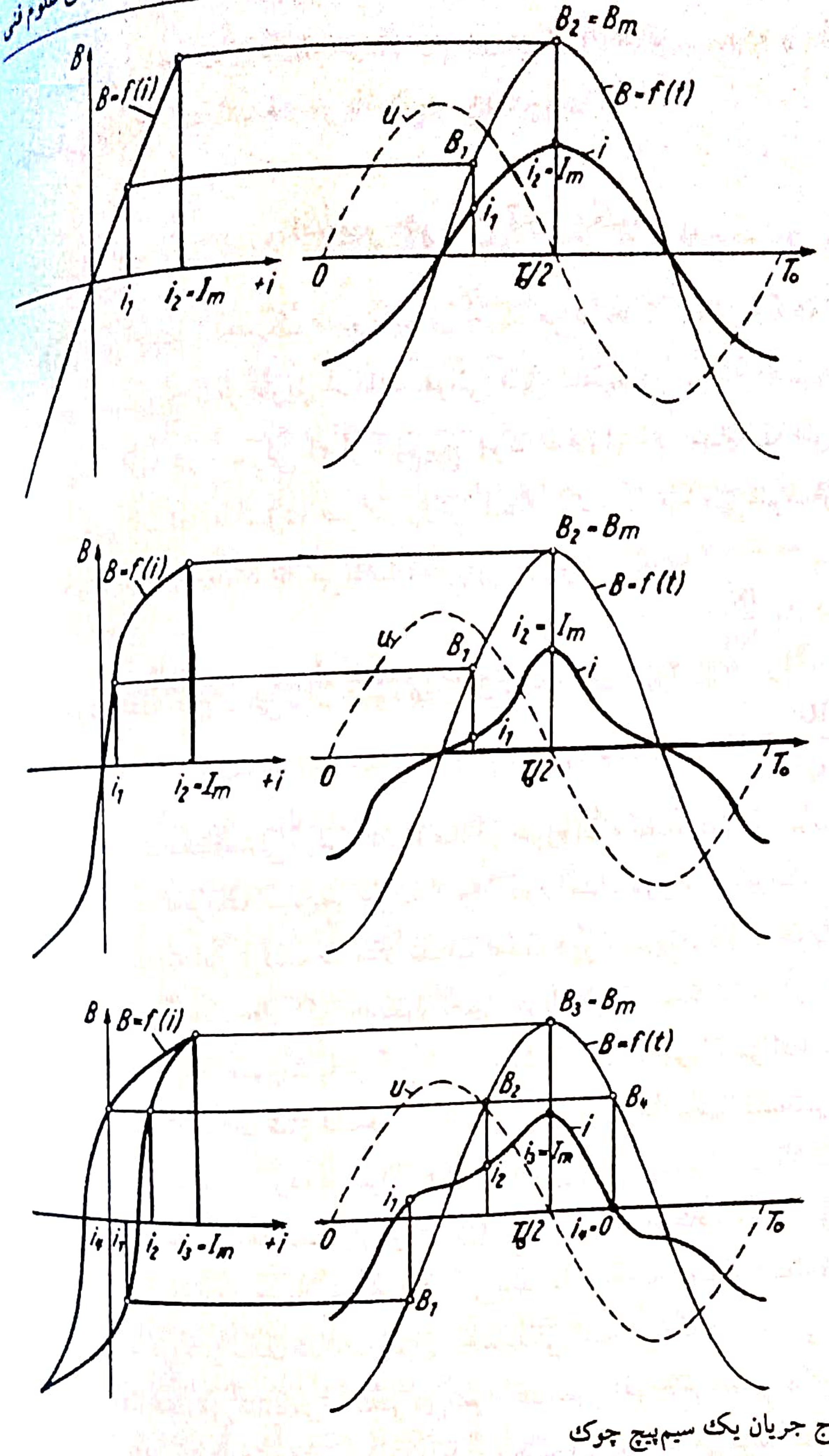
بطور کلی جریان تحریک سیم‌پیچهای چوک می‌تواند به روش ساده‌ای با تغییر تعداد دور سیم‌پیچ یا از طریق شکاف هوائی قابل تنظیم در هستهٔ آهنی افزایش یا کاهش یابد. البته در صورتی که از سیم‌پیچ چوک به‌عنوان یک مقاومت جریان متناوب قابل تغییر استفاده شود، هر دو روش عملاً بکار گرفته می‌شود. از آنجائیکه $\Phi\ MMF / R\mu = iN / R\mu$ می‌باشد، بنابراین می‌توان نوشت:

$$\hat{u}_{ind} = 4.44\ fN \frac{\hat{i}N}{R\mu}$$

و در مورد دامنهٔ جریان می‌توان نتیجه‌گیری کرد:

$$\hat{i} = \frac{\hat{u}ind\ R\mu}{4{,}44fN^2}\ 4.44$$

اگر مقاومت مغناطیسی (رلوکتانس) $R\mu$ در حوزهٔ القاء مغناطیسی ثابت بماند، در آن صورت جریان تحریک سیم‌پیچ چوک با توان دوم تعداد دور سیم‌پیچ نسبت معکوس خواهد داشت. به این ترتیب که مثلاً نصف تعداد دور سیم‌پیچ، میزان جریان را چهار برابر افزایش می‌دهد. حال اگر به‌منظور تغییر جریان از یک شکاف هوائی قابل تنظیم استفاده شود، در آن صورت با بزرگتر شدن شکاف، میزان جریان نیز افزایش می‌یابد. (مطابق تصویر ۲) میزان شار مشخص Φ_m یا میزان القاء مغناطیسی مشخص B_m که با مقادیر جریان مطابقت دارد، با میزان ولتاژ مشخص U_m متناسب می‌باشد بطوریکه هرچه میزان مقاومت مغناطیسی (رلوکتانس) بیشتر شود و شکاف هوائی بزرگتر گردد به همان نسبت مقادیر جریان نیز افزایش می‌یابد. با توجه به تصویر شمارهٔ ۲ می‌توان دریافت که با بزرگتر شدن شکاف هوائی خمیدگی منحنی که با منحنی مغناطیس شوندگی مطابقت می‌کند، مرتباً کمتر می‌شود. همچنین اعوجاج منحنی‌های جریان که در تصاویر 1b و 1c نشان داده می‌شود، بطور محسوسی ناپدید می‌گردد که البته این در صورتی است که در هستهٔ آهنی سیم‌پیچ چوک شکافهای هوائی ایجاد شود. بدین ترتیب در اینجا موج جریان دوباره شکل سینوسی پیدا می‌کند.

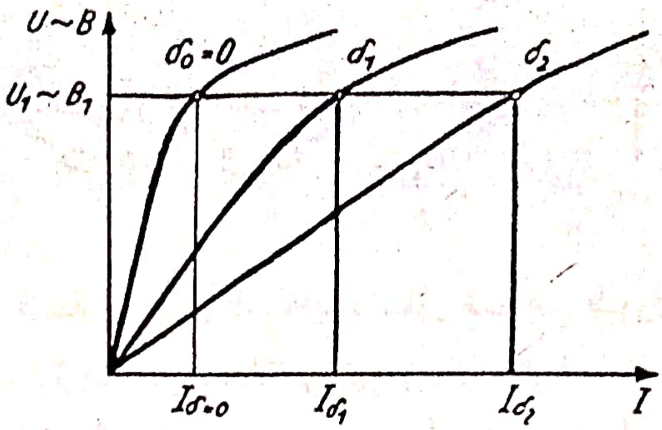


شکل ۱: موج جریان یک سیم‌پیچ چوک

a) با منحنی مغناطیس شوندگی خطی

b) با منحنی مغناطیس شوندگی غیرخطی

c) با حلقهٔ هیسترزیس پهن



شکل ۲: جریان سیم‌پیچ چوک ($\delta_2 > \delta_1$) در شکافهای هوائی مختلف δ

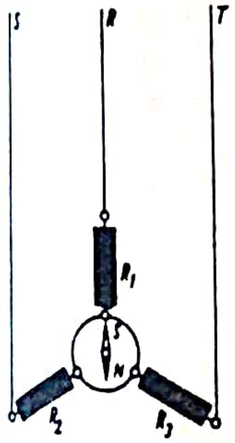
«میدان دوار»

جریان سه‌فاز دارای مشخصات ویژه‌ای است که در آزمایش زیر به شرح آن می‌پردازیم:

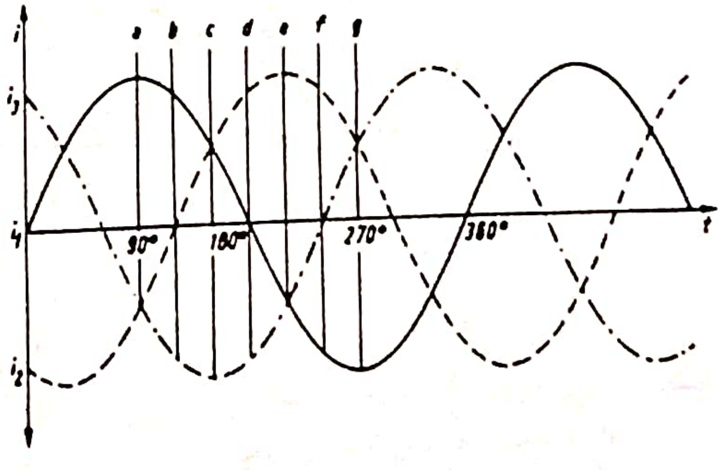
آزمایش:

سه سیم‌پیچ مطابق تصویر شمارهٔ ۱ روی یک دایره بطور شعاعی طوری قرار گرفته‌اند که محورهایشان به‌اندازهٔ ۱۲۰ درجهٔ الکتریکی از یکدیگر فاصله دارند. ترمینالهای داخلی سیم‌پیچها به یکدیگر اتصال داشته و ترمینالهای خارجی آنها به سه خط اصلی سیستم سه فاز متصل شده‌اند. در داخل فضائی که توسط این سیم‌پیچ ها محصور شده، یک سوزن مغناطیسی قرار دارد که در حال دوران بطور دائم تغییر مکان می‌دهد.در اینجا جریان سه‌فاز در آرایش سیم‌پیچ، یک میدان مغناطیسی چرخشی یا گردان را ایجاد می‌کند. ایجاد این میدان دوار بکمک سه موج جریان متناوب سه‌فاز در تصویر شمارهٔ ۲ نشان داده می‌شود.

همانطور که در تصویر شمارهٔ ۱ دیده می‌شود، سه سیم‌پیچ توسط جریانهای سه‌فازی‌که جهت و شدت‌شان تغییر می‌کند با نوع و شدت متفاوتی مغناطیس می‌شوند.



تصویر۱: میدان دوار سه‌فازه با اتصال ستاره



تصویر۲: سه موج جریان متناوب سه‌فاز

تصویر۳: ایجاد میدان دوار

تغییر مغناطش قطبهای داخلی سیم‌پیچهای R_1، R_2 و R_3 بصورت ۷ حالت از نظر فازی بطور پشت سرهم در تصویر شمارهٔ ۳ نشان داده می‌شوند. آنچه که نوع قطبها و درجهٔ مغناطشی را که با شدت جریان تغییر می‌کند، مشخص می‌سازد مربع مستطیلهائی هستند که سیم‌پیچها را نشان می‌دهند بطوریکه در قطبهای شمال بطورکامل یا قسمتی از آنها به‌رنگ مشکی رنگ شده و در قطبهای جنوب هاشورزده شده است. میزان مشکی بودن و یا هاشور نشاندهندهٔ شدت مغنایس شوندگی می‌باشد که با شدت جریان در هر یک از حالتهای فازی متناسب است و با توجه به شکل شمارهٔ ۲ برداشت می‌شود.

در تصویر شمارهٔ ۳ از a تا g تغییرات در یک نیم پریود ($\alpha = 90°$ تا $\alpha = 270°$) ترسیم شده و در ادامهٔ نیم پریود، تصاویر دوباره تکرار می‌شوند فقط بجای قطب شمال، جنوب و برعکس بجای قطب جنوب، قطب شمال متناسب با میزان شدت قرار دارد.

همانطور که تصویر شمارهٔ ۳ نشان می‌دهد درحالیکه از شدت قطب شمال سیم‌پیچ R_1 در حالتهای b و c کاسته می‌گردد، بطور همزمان شدت قطب جنوب در R_3 افزایش می‌یابد. قطب شمال سوزن مغناطیسی که بطور آزادانه حرکت می‌کند توسط قطب جنوب که شدیدتر می‌شود، بطرف سیم‌پیچ R_3 کشیده می‌شود و سوزن از وضعیت اولیهٔ خود در α در جهت عکس حرکت عقربهٔ ساعت می‌چرخد. سوزن مغناطیسی همیشه در جهت میدان مغناطیسی منتج شده قرار می‌گیرد و در یک پریود کامل نیز

سوزن مغناطیسی یک چرخش کامل را انجام می‌دهد. این میدان مغناطیسی در حال چرخش را «میدان دوار» یا «میدان گردان» می‌نامند و جریان سه‌فازی را که توسط آن، میدان دوار تولید می‌شود «جریان متناوب سه‌فازه» می‌نامند. اگر در آزمایشی بطور مثال دو خط اصلی R و S را با یکدیگر عوض کنیم در آن صورت جهت چرخش میدان دوار معکوس می‌شود. تعداد چرخش میدان دوار باتوجه به فرکانس جریان متناوب سه‌فازه تعیین می‌گردد بطوریکه در آزمایش یک جریان متناوب سه‌فازهٔ ۵۰ پریودی با ۵۰ دور گردش میدان رد هر ثانیه و یا به عبارتی ۳۰۰۰ دور گردش میدان در هر دقیقه برابر می‌باشد.

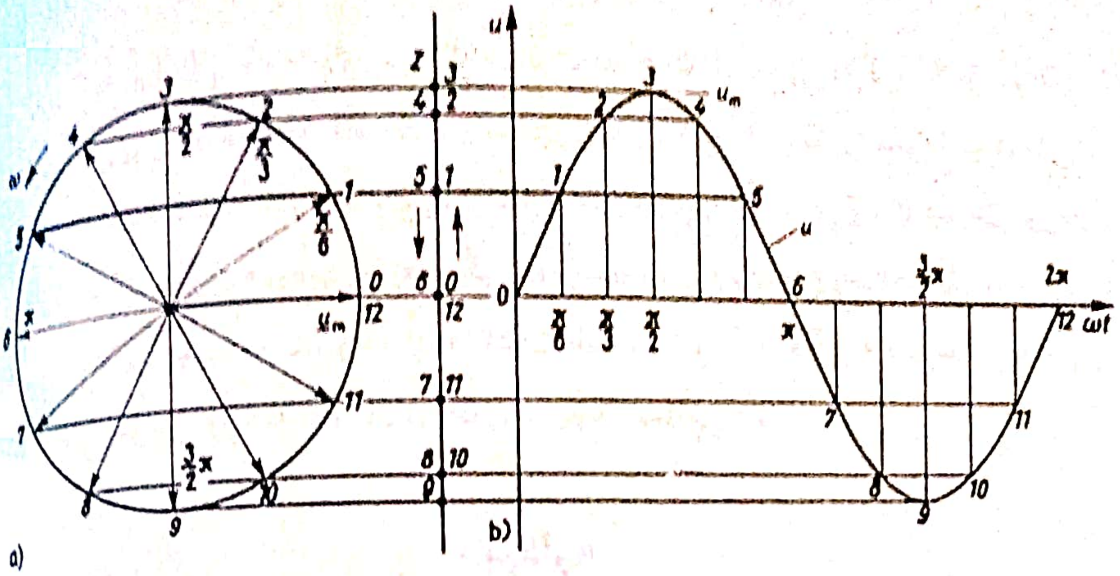
«نمایش برداری کمیتهای متناوب سینوسی»

این نکته به آسانی قابل فهم است که می‌توان بجای توابع زمانی $X = f(t)$ از نمایش برداری کمیتهای متناوب استفاده کرد و مقادیر زمانی X را نیز بجای خطوط سینوسی روی محور زمان t قرار داد. بخصوص اگر قرار باشد چندین کمیت در کنار یکدیگر مورد توجه قرار بگیرند و با همچنین با یکدیگر جمع شوند، استفاده از روش مذکور مناسب خواهد بود. به همین علت نیز در اینجا نشان داده می‌شود که چگونه می‌توان چنین کمیتهای سینوسی وابسته به زمان را بطور سمبلیک نمایش داد.

«بردار»

ما در تصویر (۱) برداری (یک پیکان ساده) را مشاهده می‌کنیم که رأس آن با علامت مشخصهٔ مقدار ماکزیمم کمیت متناوب (بطور مثال در مورد ولتاژ با علامت $\underline{U}_m$ مشخص می‌شود که در زیر آن خط کشیده شده است) مشخص می‌گردد و طول بردار با این مقدار ماکزیمم متناسب می‌باشد. خطی که در زیر آن کشیده شده به این نکته اشاده می‌کند که این علامت نه فقط کمیت فیزیکی بلکه خصوصیات برداری آنرا نیز بطور سمبلیک نشان می‌دهد.

حال اگر در تصویر شمارهٔ ۱ بردار ولتاژ u_m در جهت مثبت عددی برخلاف حرکت عقربهٔ ساعت با سرعت زاویه‌ای w بچرخد، در آن صورت تصویر رأس بردارها روی محور زمان Z که ساکن است، مقادیر زمانی $u = u_m \text{ Sin } (wt)$ را نمایش می‌دهد مانند مکانهای ۱۲ بردار و مقادیر زمانی مربوط به آن که در تصویر شمارهٔ ۱ نشان داده می‌شود. بنابراین یک موج سینوسی که روی دیاگرام زمانی نمایش داده می‌شود در واقع می‌تواند نمایشگر تصویر یک برداری که با سرعت یکنواخت می‌چرخد، روی محور ساکن زمان باشد.



شکل ۱: ارتباط بین دیاگرام برداری (a) و دیاگرام زمانی (b)

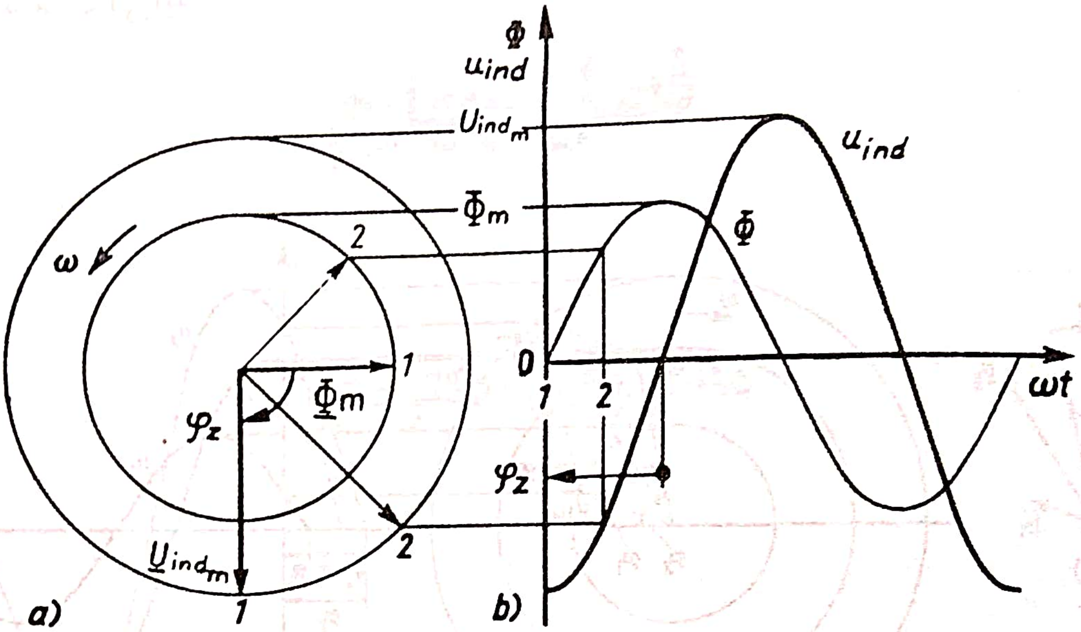
سرعت زاویه‌ای w بردار با فرکانس زاویه‌ای $w = 2\pi f$ نوسانی برابر است که در تصویر ملاحظه می‌کنید.(در تصویر ۱ محور زمان Z بطور اختیاری موازی با محور مختصات قرار دارد. حال اگر بردار را ساکن نگه‌داشته و محور زمان را در جهت حرکت عقربهٔ ساعت بچرخانیم و دوباره تصویر بردار را روی محور زمان به عنوان مقدار زمان بدست آوریم، باز هم به همان نتیجه می‌رسیم). بنابراین همانند نوسان سینوسی یک کمیت فیزیکی، بردار آن نیز توسط چهار مشخصه تعیین می‌گردد:

۱ - نوع (کیفیت) کمیت متناوب توسط علامت مشخصه‌ای که در رأس بردار قرار دارد، مشخص می‌شود. (بطور مثال $\underline{u}_m$ ، $\underline{i}_m$ ، $\underline{\Phi}_m$) خطی که در زیر کشیده شده است در اینجا خصوصیات برداری کمیت را بطور سمبلیک نشان می‌دهد.

۲ - میزان کمیت توسط طول بردار مشخص می‌شود و در این رابطه به مقیاس مناسبی احتیاج داریم که آنرا بطور مجزا در دیاگرام زمانی وارد کنیم: (بطور مثال $1Cm \triangleq 5\ A$ یا $1Cm \triangleq 20\ V$).

۳ - دو کمیت متناوب هم فرکانس می‌توانند از نظر حالت فازی باهم تفاوت داشته

باشند بطوریکه روی دیاگرام برداری توسط زاویهٔ فاز α_z بین بردارها نشان داده می‌شود بطور مثال تصویر شمارهٔ ۲ نشان دهندهٔ دیاگرام خطی و دیاگرام برداری مربوط به آن زاویهٔ فاز φ_z است بطوریکه شار Φ نیز به عنوان کمیت مبنا در نظر گرفته شده است.

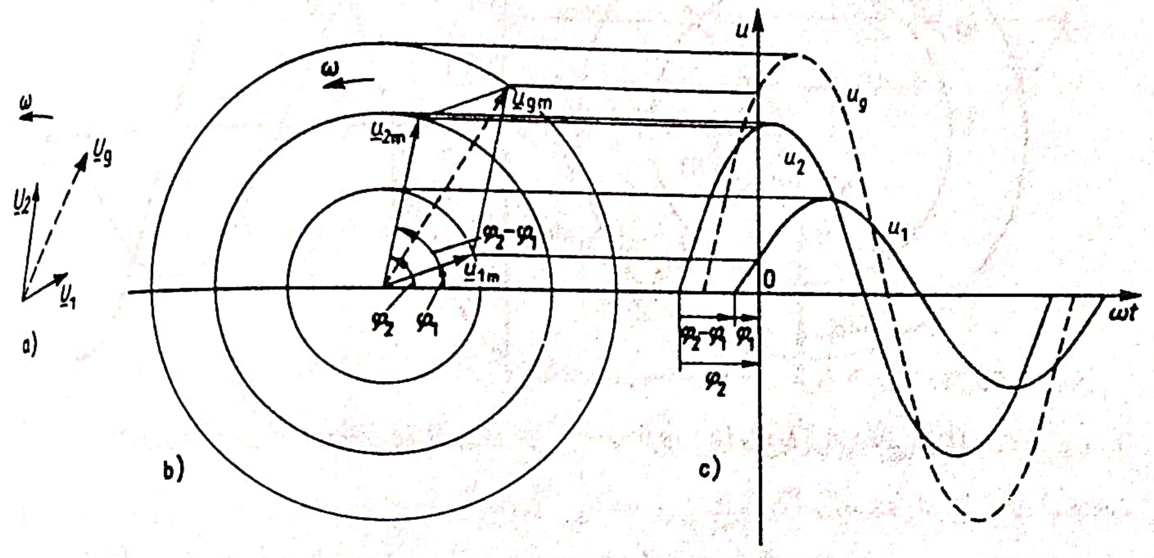


تصویر ۲: شار Φ و ولتاژ u_{ind} روی دیاگرام برداری (a) و دیاگرام زمانی (b)

۴ – فرکانس f یک نوسان سینوسی سرعت زاویهٔ w بردارگردان را تعیین می‌کند و به همین علت روی دیاگرامهای برداری نیز فقط می‌توان کمیتهای متناوب هم‌فرکانس را نمایش داد و البته این در صورتی است که زاویهٔ فاز φ_z نیز در هنگام دوران ثابت باقی‌بماند. از آنجائیکه فقط بردارهای ثابت را می‌توان روی دیاگرام برداری ترسیم کرد، از این جهت دیاگرامهای برداری در شکلهای ۱ و ۲ تا حدودی تصاویر لحظه‌ای بردار گردان را نشان می‌دهد.

علاوه بر آنکه در کمیتهای متناوب سینوسی رابطهٔ مقدار پیک (ماکزیمم) X_m با مقدار موثر X توسط عامل ثابت ماکزیمم $\varepsilon = \sqrt{2}$ تعیین می‌شود، مقدار موثر نیز اکثراً در جریان متناوب بطور عملی کاربرد بیشتری دارد به همین جهت می‌توان طول بردار را نیز براساس این مقدار موثر تعیین کرد. بطور مثال اگر ما برای مقدار ماکزیمم جریان مقیاس

$1A = 5\ Cm$ را در نظر بگیریم، در آن صورت این مقیاس برای مقدار موثر فقط $1A = 5\ Cm / \sqrt{2} = 3.53$ صدق می‌کند. در شکل شمارهٔ ۳ بطور مثال دیاگرامهای برداری مشابهی در کنار یکدیگر ترسیم شده است که مقادیر موثر و مقادیر ماکزیمم را نشان می‌دهند و از روی هر دو این تصاویر نیز نتایج مشابهی (بطور مثال از نظر حالت فازی) بدست می‌آید.



تصویرهٔ ۳: جمع دو ولتاژ متناوب $u_1 + u_2 = u_g$ روی دیاگرام برداری با مقادیر موثر(a)، با مقادیر پیک (ماکزیمم)(b) و روی دیاگرام زمانی (c)

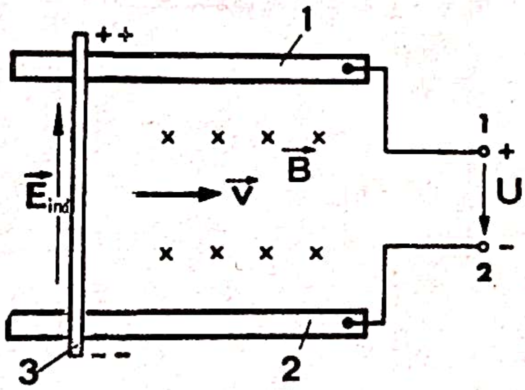
فصل چهارم

ماشینهای الکتریکی

تأثیر متناوب در میدان الکتریکی و مغناطیسی (قانون اندوکسیون)

در کنار تأثیر جریان الکتریکی که میدان مغناطیسی را تحریک می‌کند، تجربیات نشان می‌دهد که یک میدان مغناطیسی نیز از طرف خودش تأثیرات الکتریکی اعمال می‌کند. بطور کلی این پدیده‌ها را می‌توان تحت مفهوم «القاء» یا «اندوکسیون» خلاصه کرد.

شکل ۱ مدلی را نشان می‌دهد که به‌کمک آن می‌توان فرآیندهائی را روی یک هادی که در میدان مغناطیسی بطور مستقیم‌الخط حرکت می‌کند مورد بررسی قرار داد.

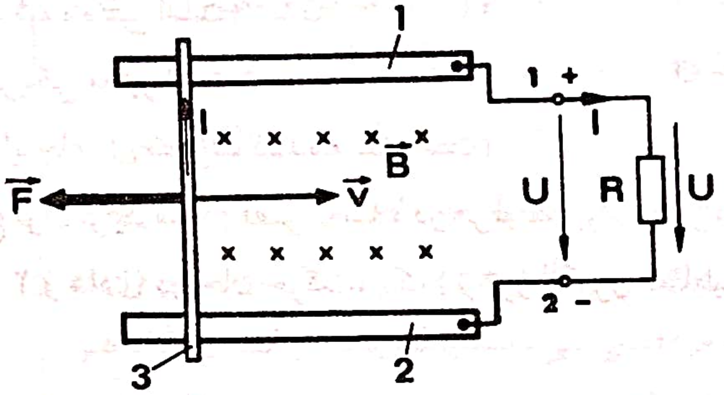


شکل ۱ القای ولتاژ U به علت حرکت هادی ۳ در میدان مغناطیسی

در شکل بالا دو ریل هادی ۱ و ۲ که بدون مقاومت هستند نشان داده می‌شود. همانطور که می‌بینید در روی آنها میلهٔ هادی ۳ می‌تواند بلغزد بطوری‌که میلهٔ مذکور توسط کنتاکت متحرکی با ریلهای هادی ارتباط دارد و این مدل به ترمینالهای ۱ و ۲ متصل می‌شود. در فضای بین ریلها میدان همگنی وجود دارد که شدت آن توسط چگالی شار مغناطیسی $\vec{B}$ توصیف می‌شود بصورتی که جهت آن عمود بر سطح بین ریلها در سطح تصویر وارد می‌گردد و با ضربدرهائی در تصویر نشان داده می‌شود.

اگر میلهٔ هادی ۳ مربوط به‌مدل بالا با سرعتی حرکت کند که با بردار $\vec{V}$ مشخص شده است ، در آن صورت شدت میدان E_{ind} ایجاد می‌شود که در تصویر نشان داده می‌شود . دراینجا توسط E_{ind} بارهای حامل در هادی جدا می شوند بطوری‌که در هادی ۱ بار حامل مثبت و در هادی ۲ بار حامل منفی وجود دارد.

دراینجا به کمک مدل مربوط به شکل ۱ همچنین می‌توان تولید ولتاژ را با حرکت یک هادی در میدان مغناطیسی بیان کرد که این نوع تولید ولتاژ را «القاء» یا «اندوکسیون» می‌نامند. ولتاژ V ولتاژی است که از طریق حرکت هادی ۳ در میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود.



شکل ۲ : مدل یک ژنراتور الکترو مغناطیس

مطابق تصویر ۲ هادی‌ای که با سرعت $\vec{V}$ در میدان مغناطیسی حرکت می‌کند بدلیل اندوکسیون سبب ایجاد ولتاژ U و جریان I می‌شود . در اینجا مدار جریان به انتهای ترمینالها، ریلهای هادی و هادی ۳ اتصال دارد بطوری‌که در آن جریان نشان داده شده در تصویر عبور می‌کند. در واقع هادی ۳ نشان‌دهندهٔ یک هادی‌ای می‌باشد که در حال حرکت در میدان مغناطیسی بوده و از آن جریان عبور می‌کند . ایجاد این اندوکسیون بر روی میله هادی نیرو اعمال می‌کند به عبارتی نتیجهٔ این فرآیند، تأثیر نیرو بر روی هادی را بیان می‌کند . نیروئی که بر روی هادی ۳ تأثیری می‌گذارد. در شکل ۲ با بردار $\vec{F}$ نشان داده می‌شود.

در مدلی که در آن یک مقاومت به ترمینالهای ۱ و ۲ بسته شده است ، باید هادی مخالف با نیروی $\vec{F}$ حرکت کند.

در اینجا کار مکانیکی که روی مدل مذکور وارد شده است به کار الکتریکی تبدیل می‌شود و توسط مدار جریان به مقاومت R منتقل می‌گردد.

کار بر حسب واحد زمان به صورت توان نشان داده می‌شود و در رابطه با مدل مذکور در مورد توان مکانیکی وارد شدهٔ P_{me} صدق می‌کند :

$$P_{me} = \vec{F} . \vec{V}$$

چون در اینجا کسینوس برابر ۱- است بنابراین می‌توان نوشت :

$$P_{me} = F_V \cos \measuredangle (\vec{F} . \vec{V}) = - F_V$$

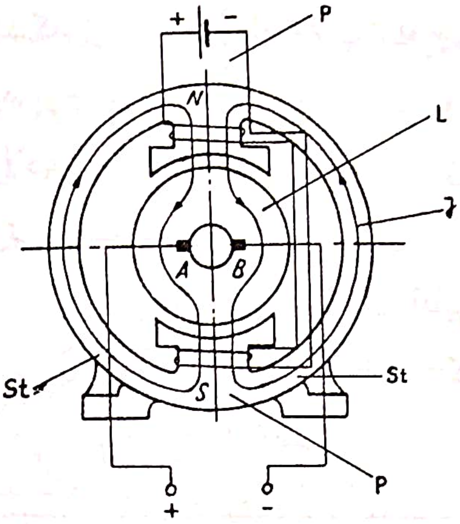
(در اینجا توان تولید شده منفی است)

در مورد انرژی الکتریکی معتبر است :

$$P_{el} = IU > O$$

(توان الکتریکی در اینجا برای مصرف کننده مثبت است)

در اینجا مجموع توان تولید شده ومصرف شده در هر لحظه برابر صفر می‌باشد. این مدل با ریلهای ۱ و ۲ و هادی در حال حرکت، یک ژنراتور الکترو مغناطیس ساده را نشان می‌دهد.

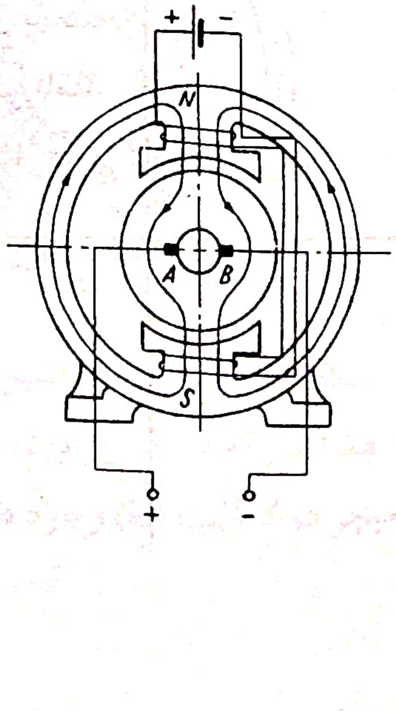


شکل بالا شمای یک ماشین الکتریکی DC (یکنواخت) رانشان می‌دهد که از یک استاتور (St) ساکن و یک روتور دوار (L) تشکیل شده است.

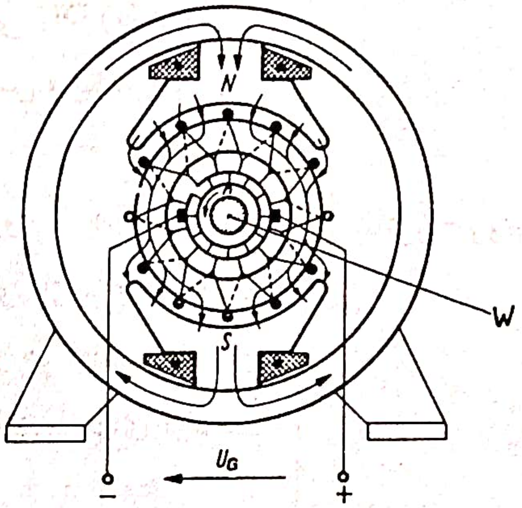
استاتور – روتور

بنابراین (St) قسمت ساکن و (L) و قسمت متحرک یا دوار ماشین می‌باشد . استاتور از یوغ استوانه‌ای (J) یا بدنه و دو قطب تشکیل شده است و هر قطب نیز دارای یک سیم‌پیچ مغناطیسی می‌باشد بطوریکه در انتهای آزاد هر قطب گسترش می‌یابد.

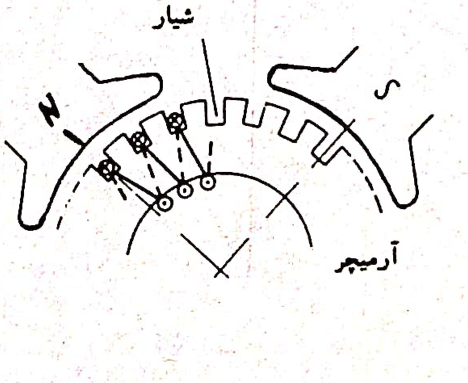
پایانه مذکور را «کنش قطبی» نیز می‌نامند.

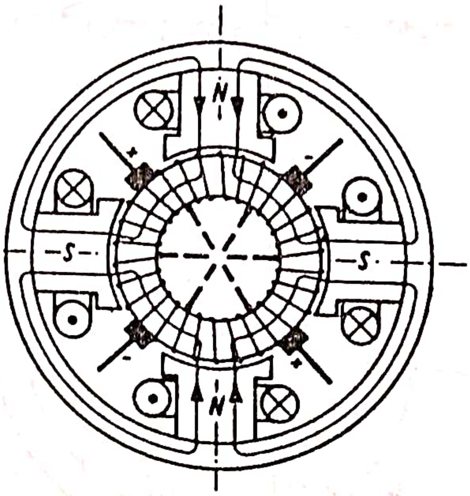
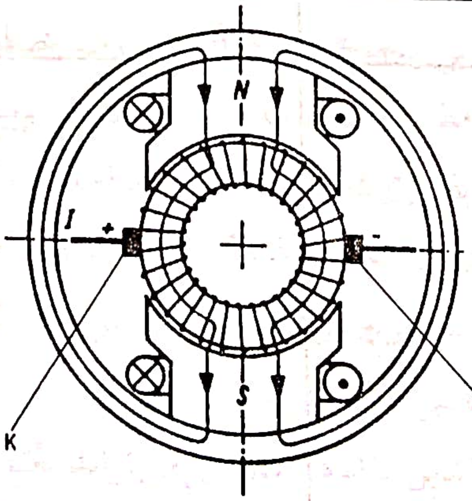


استاتور - یوغ قطب	قسمت ساکن یک ماشین DC را می‌نامند که از استوانه‌ای و دو تشکیل می‌شود. یوغ استوانه‌ای ازجنس فولاد ریخته‌گی، لولهٔ فولادی یا ورقهٔ فولادی ساخته می‌شود. قطبها، هستهٔ سیم‌پیچ مغناطیسی یابه‌عبارتی هستهٔ‌قطبی
کفش های قطبی - هستهٔ قطبی -کفش قطبی	را تشکیل که در انتهای آزاد آنها گسترش می‌یابد. به عبارتی هر قطب از دو قسمت و تشکیل شده است.



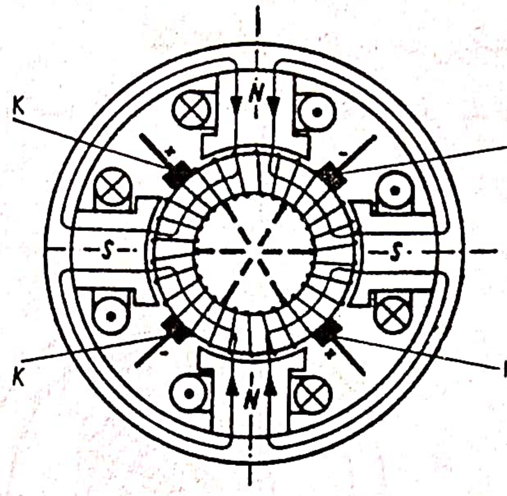
کفش‌های قطبی آرمیچر	در این ماشین DC دو قطب وجود داردکه در انتهای آزاد آنها گسترش می‌یابد. ماشینهای DC می‌توانند دارای دو قطب ، چهارقطب و یا تعداد قطبهای بیشتری باشند. روتور راکه روی محور (ω) قرار دارد، آرمیچر نیز می‌نامند. بنابراین می‌توان گفت که روی محور (ω) قرار دارد.



در تصویر بالا دو کفش قطبی و قسمتی از یک نشان داده می‌شود. آرمیچر دارای شیارهای (Nu) می‌باشد و در درون (Nu) پیچ آرمیچر قرار دارد.	آرمیچر شیارهای
 این ماشین DC دارای چهار است. این آرمیچر دارای می‌باشد که درون آنها سیم‌پیچ آرمیچر جاسازی شده است .	قطب – شیارهائی
 شکل بالا شمای یک ماشین DC رانشان می‌دهد. همانطور که در تصویر دیده می‌شود در سمت راست و چپ آرمیچر دو کنتاکت (K) وجود دارد که از جنس مخلوطی از مس	

وکربن ساخته شده است.

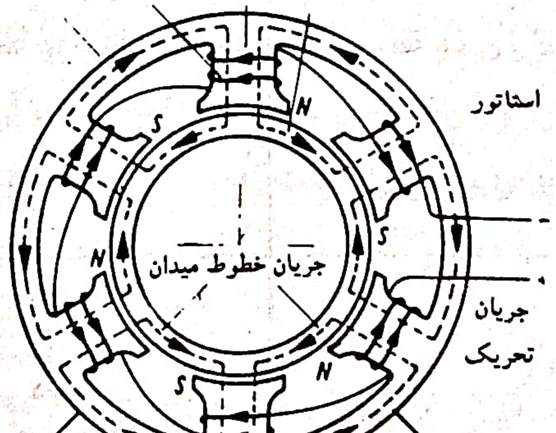
هر یک از این کنتاکتها «جاروبک» یا «جاروبک ذغالی» نامیده می‌شود.



این ماشین DC دارای چهار (K) یا می‌باشد.

جاروبک - جاروبک ذغالی

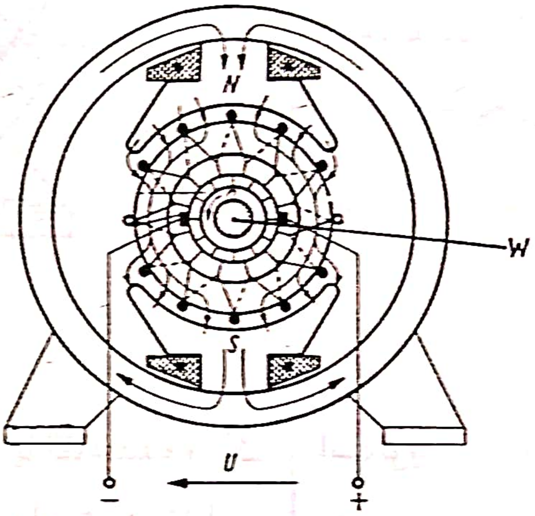
این جاروبکها با ترمینالهای آرمیچر ارتباط الکتریکی دارند و از طریق این جاروبکها و ترمینالهای آرمیچر به آرمیچر جریان وارد و یا از آرمیچر جریان خارج می‌شود.



در این ماشین DC شش قطب یا شش سیم‌پیچ مغناطیسی وجود دارد.

در این قطبها جریان ثابت تحریک، میدان مغناطیسی ساکنی را ایجاد می‌کند.

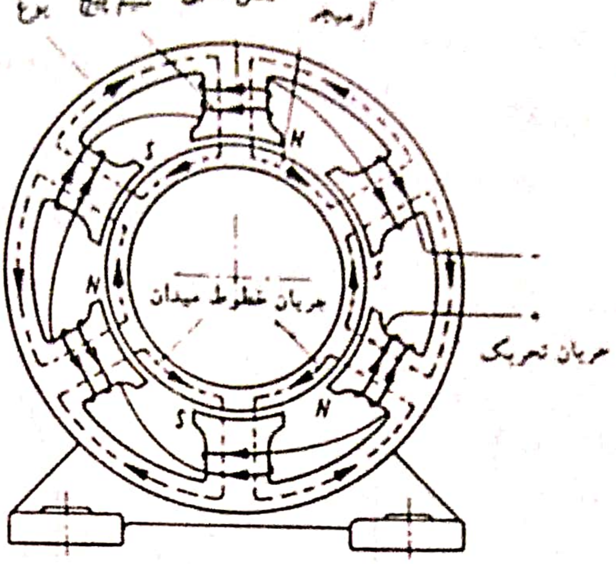
این سیم‌پیچها را «سیم‌پیچ تحریک» می‌نامند.



در این ماشین DC دو سیم‌پیچ تحریک نشان داده می‌شود.

اگر محوری که روی آن آرمیچر قرار دارد در یک میدان مغناطیسی بچرخد، درآن صورت خطوط میدان سیم‌پیچ تحریک قطع می‌گردد که در نتیجه در سیم‌پیچ آرمیچر ولتاژ القاء می‌شود بطوری‌که میزان ولتاژ القاء شده رانیز می‌توان روی ترمینالهای آرمیچر اندازه‌گیری کرد اما در صورتی که در این حالت از سیم‌پیچ آرمیچر جریان نیز عبور کند، در آن صورت «گشتاور» نیز تولید می‌شود.

یک ماشین DC در صورتی می‌تواند یک ژنراتور باشد که‌با چرخش محور آرمیچر کار مکانیکی به‌کارالکتریکی تبدیل شود و برعکس در صورتی می‌تواند یک موتور باشد که کار الکتریکی به‌کار مکانیکی تبدیل شود.



ماشین DC با قطبهای خارجی

استاتور
روتور

هر ژنراتور از یک قسمت ساکن یا القاءکننده و یک قسمت دوار یا القاءشونده تشکیل شده است. در ژنراتور DC قطبهای مغناطیسی در قسمت استاتور قرار دارند و این چنین ماشینهائی دارای قطبهای خارجی هستند.

یوغ

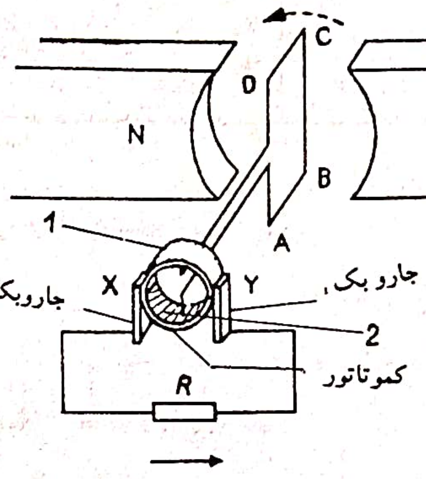
قسمت ساکن ماشین از یک بدنه یا حلقه‌ای شکلی تشکیل شده است که به آن قطبها که در انتهای آنها کفش‌های قطبی منتهی می‌شود، پیچ داده شده است. به منظور پایین نگه داشتن میزان تلفات مغناطیسی یوغ از جنس چدن یا فولاد ریخته‌گی و قطبها و کفش‌های قطبی نیز اغلب از ورق دینامو ساخته می‌شوند.

سیم‌پیچ‌های
مغناطیسی

از آنجایی‌که روی قطب‌ها تحریک می‌شوند به‌همین علت نیز این سیم‌پیچهای مغناطیسی را «سیم‌پیچ‌های تحریک» می‌نامند و جریانی که از آنها عبور می‌کند «جریان تحریک» نامیده می‌شود.

علاوه بر خصوصیات مغناطیسی هستهٔ آهنی، میزان شدت میدان مغناطیسی نیز با توجه به تعداد دور سیم‌پیچ تحریک تعیین می‌گردد. به عبارتی میزان شدت میدان در صورتی افزایش می‌یابد که یا سیم‌پیچها نازک و تعداد دور آنها زیاد باشد که در آن صورت جریان تحریک ضعیفی را از خود عبور می‌دهند و یا در صورتی است که سیم‌پیچها کلفت و تعداد دور آنها کم باشد که در آن صورت جریان تحریک شدیدی از آنها عبور می‌کند.

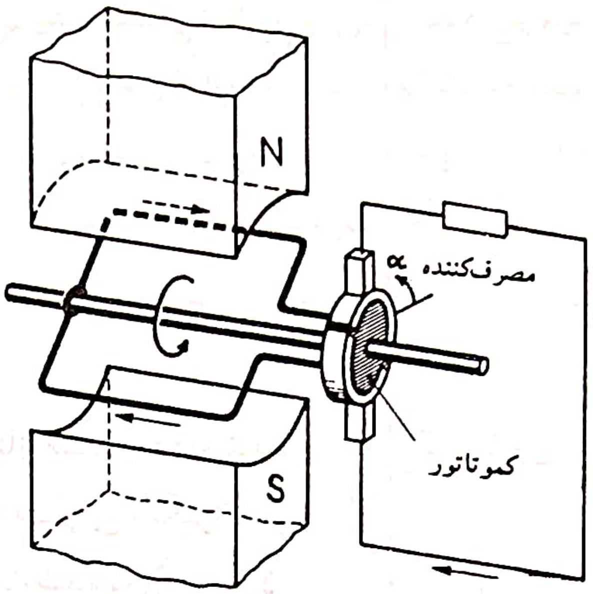
اگر یک حلقهٔ هادی (کلاف) در یک میدان مغناطیسی بچرخد، در آن‌صورت ولتاژی متناوب القاء می‌شود که این ولتاژ متناوب (AC) می‌تواند به یک ولتاژ مستقیم (DC) تبدیل شود. در اینجا دو نیم حلقهٔ (۲ و ۱) که نسبت به یکدیگر از نظر الکتریکی ایزوله می‌باشند، به دو انتهای حلقهٔ هادی متصل شده‌اند :



اگر بطور مثال قسمت $\overline{DC}$ کلاف مطابق شکل در جهت پیکان بچرخد، جریانی تولید می‌شود که از حلقهٔ (۱) وجاروبک X در مدار جریان در جهت پیکان عبور می‌کند. درصورت ادامهٔ چرخش کلاف، قسمت $\overline{AB}$ در حالتی قرار می‌گیرد که قسمت $\overline{DC}$ در تصویر دارد. بنابراین در قسمت $\overline{AB}$ جریان در همان جهتی تولید می‌شود که از حلقهٔ ۲ و جاروبک X در مدار جریان در جهت پیکان عبور می‌کند.

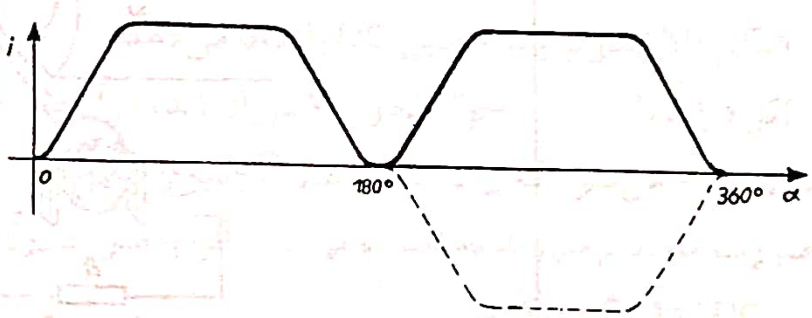
از حداقل ۲ .... یک کموتاتور تشکیل می‌شود. | نیم حلقه

کموتاتور را «کلکتور» یا «یکسوکنندهٔ مکانیکی» نیز می‌نامند.



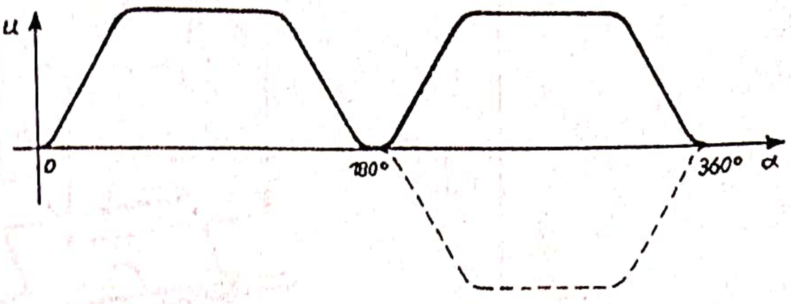
کموتاتور
نیم‌حلقه

این حلقهٔ هادی از طریق .... به یک مدار جریان ارتباط دارد. کموتاتور که از دو .... تشکیل شده است، ولتاژ متناوب (AC) را به ولتاژ مستقیم (DC) تبدیل می‌کند:



این موج جریان یکنواخت ضربان‌داری راکه در تصویر بالا مشاهده می‌کنید، «موج پالس» می‌نامند.

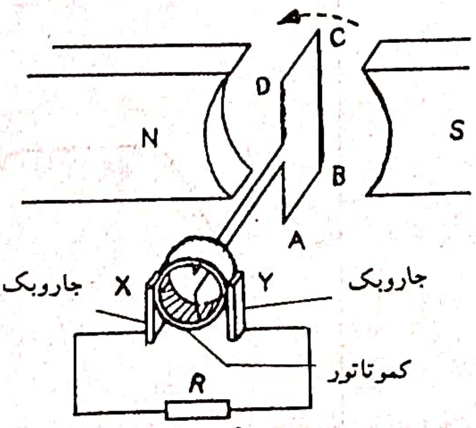
در این جریان پالس، دو موج در هر °۳۶۰ تشکیل می‌شود که این دو موج پالس دارای جریان سینوسی ایده‌آلی نمی‌باشد.



کموتاتور | در یک ماشین DC ولتاژ متناوب القاء شده را به یک ولتاژ پالس DC تبدیل می‌کند. به عبارتی دیگر کموتاتور بمنظور یکسوکردن جریان متناوب القاءشده بکار می‌رود.

پالس | در ولتاژ DC فقط میزان ولتاژ تغییر می‌کند وجهت آن تغییر نمی‌کند.

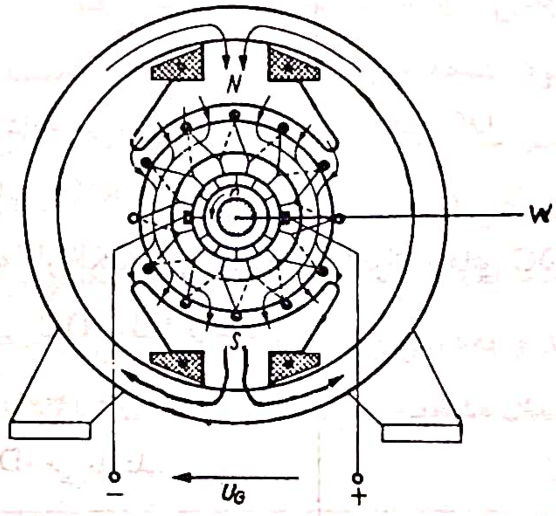
پالس | این ولتاژ DC دارای ۲ موج پالس است زیرا در هر °۳۶۰ دو موج پالس تشکیل می‌گردد.

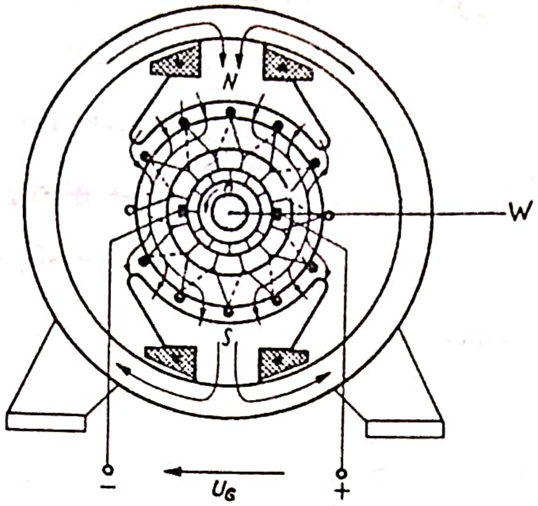


کموتاتور | در شکل بالا حلقهٔ هادی از طریق به یک مدار جریان ارتباط دارد.

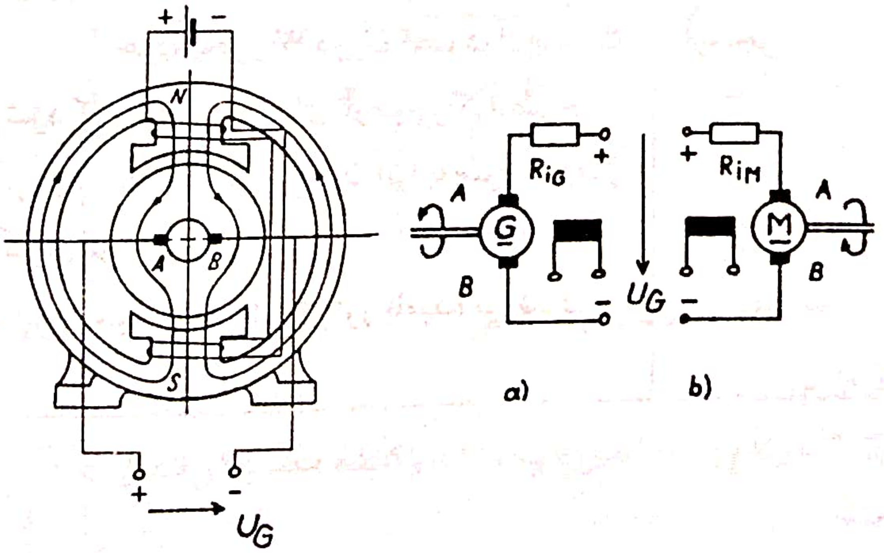
یک کموتاتور را «کلتور» یا «یکسوکننده مکانیکی» نیز می‌نامند.

در این کموتاتور ابتدا و انتهای سیم‌پیچ آرمیچر به‌هر یک از

کموتاتور	دو نیم‌حلقه‌ها متصل است. که در ماشینهای DC به‌تعداد زیادی سیم‌پیچ متصل می‌شود، از تعداد زیادی تیغه‌های مسی تشکیل شده است که نسبت به‌یکدیگر عایق هستند و در واقع عامل ارتباط سیم‌پیچ‌های آرمیچر به جاروبکها می‌باشند زیرا جاروبکها مرتباً با تیغه‌های مسی کموتاتور تماس دارند.
آرمیچر	 شکل بالا تصویر یک ماشین DC رانشان می‌دهد. اگر دراینجا حول محور W دوران کند، درآن‌صورت ولتاژی القاء می‌شود که روی ترمینالهای آرمیچر که طرح آن به‌صورت ساده ترسیم شده است، می‌توان آنرا به‌صورت ولتاژ پالس DC اندازه‌گیری کرد. در این حالت این ماشین DC یک ژنراتور نامیده می‌شود.



در اینجا تصویر یک نشان داده می‌شود.	ماشین DC
درشکل بالا این ماشین DC رایک «ژنراتور DC» می‌نامند.	
در کار مکانیکی به کار الکتریکی تبدیل	ژنراتورهای DC
می‌شود اما برعکس اگر به‌آرمیچر یک‌ماشین DC، ولتاژ ترمینال U_G اعمال گردد، درنتیجه این باعث دوران آرمیچر می‌شود که در این حالت این ماشین DC رایک «موتور DC» می‌نامند.	
در کار الکتریکی به کار مکانیکی تبدیل می‌شود.	موتورهای DC



شکل بالا تصویر یک را نشان می‌دهد. اگر این ماشین در حالت یک ژنراتور کار کند در آن صورت مدار معادل آن به‌صورت شکل a ترسیم می‌شود و در صورتی که این ماشین در حالت یک موتور کار کند، مدار معادل آن به‌صورت شکل b ترسیم می‌گردد.	ماشین DC
بنابراین برحسب آنکه یک ماشین DC توان مکانیکی را به توان الکتریکی تبدیل کند، یک و اگر برعکس توان الکتریکی را به توان مکانیکی تبدیل کند، یک نامیده می‌شود. نتیجهٔ تأثیر متناوب موجود بین کمیتهای مکانیکی (نیرو $\vec{F}$، سرعت $\vec{V}$، گشتاور $\vec{M}$، سرعت زاویه‌ای $\vec{W}$) و کمیتهای الکتریکی (ولتاژ V و جریان I) ناشی از میدان مغناطیسی می‌باشد بطوری‌که این تأثیرات بطور معکوس نیز قابل برگشت هستند و به‌همین علت است که ژنراتورها و موتورها در اصل ساختمان مشابهی دارند.	ژنراتور موتور

«تأثیر جریان در کموتاتور»

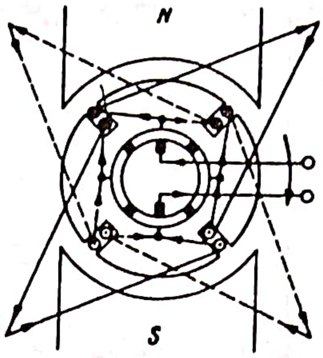
آرمیچری	اگر ما راکه به شکل استوانه‌ای است وروی آن سیم‌پیچ آرمیچر قرار دارد بچرخانیم بطوری‌که سیم‌پیچ ، خطوط میدان مغناطیسی را قطع کند، در آن صورت در سیم‌پیچ آرمیچر ولتاژ القاء می‌شود. حال اگر ما انتهای سیم‌پیچ‌ها را به حلقه‌های لغزان یا اسلیپ رینگها متصل کنیم در آن صورت می‌توان از آن
ولتاژ متناوب	کسب کرد اما اگر انتهای سیم‌پیچ آرمیچر به دو نیم حلقه که نسبت به‌یکدیگر ایزوله هستند ، متصل شود در آن صورت ولتاژ بین جاروبکها که با نیم‌حلقه‌ها تماس دارند دیگر تغییر جهت نخواهد داد و درنتیجه بین این جاروبکها دیگر
ولتاژ متناوب ـ	ایجاد نمی‌گردد و تولید می‌شود
ولتاژ مستقیم	بطوری‌که مقدار آن بین میزان ماکزیمم و صفر درنوسان می‌باشد
ولتاژ پالس DC	که چنین ولتاژی را ولتاژ مستیقیم ضرباندار یا

می‌نامند. بنابراین هر دو نیم حلقه‌هائی‌که نسبت به یکدیگر ایزوله هستند به مدار خارجی ولتاژ یا جریان را مرتباً بر می‌گردانند. به همین جهت این چنین رینگ مرکبی را یک «کموتاتور» می‌نامند.

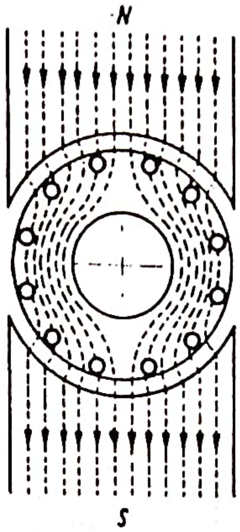
در شکل ۱ آرمیچری با چهار سیم‌پیچ نشان داده می‌شود بطوری‌که همهٔ‌آنها بطور سری بسته شده‌اند و به چهار رینگهائی که نسبت به یکدیگر عایق هستند اتصال دارند .

جاروبکها این سیم‌پیچ آرمیچر راکه بطور سری بسته شده است به صورت دو شاخهٔ موازی از هم جدا می‌کند و هر یک از این شاخه‌ها از سیم‌پیچی تشکیل شده است که با خطوط کامل ونقطه‌چین نشان داده می‌شود و از نظر مکانی °۹۰ نسبت

به‌یکدیگر اختلاف دارند.



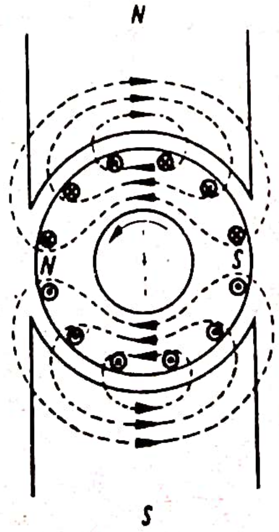
شکل ۱: آرمیچر یک ماشین DC با چهار سیم‌پیچ



شکل بالا تصویر میدان قطبهای یک موتور DC راکه فاقد جریان آرمیچر است نشان می‌دهد.

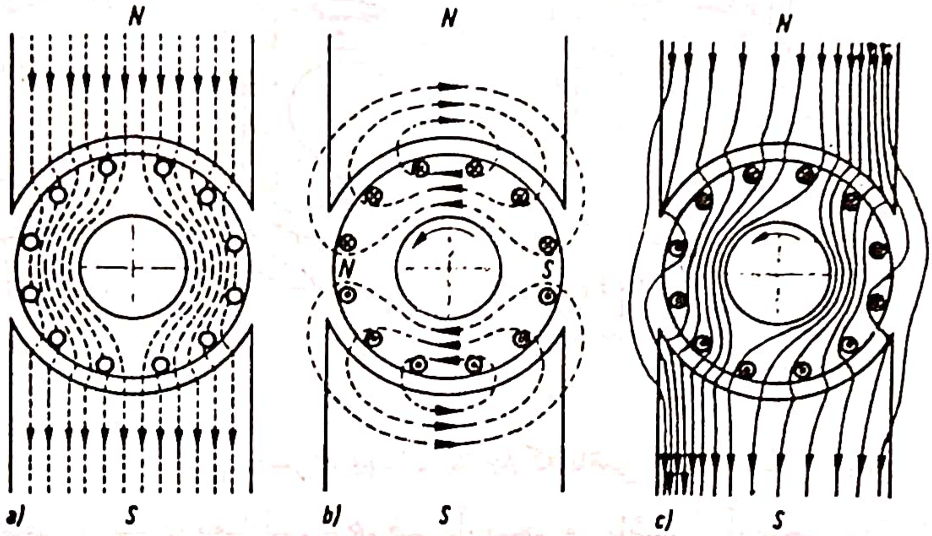
این میدان را «میدان اصلی» می‌نامند.

حال اگر از آرمیچر جریان عبور کند در آن صورت در اطراف آرمیچر یک میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود :



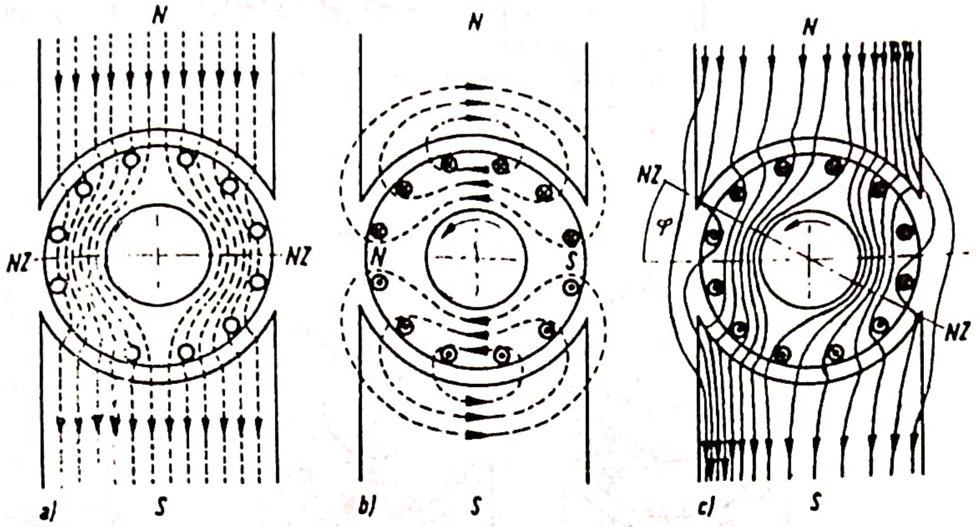
این میدان مغناطیسی عمود بر ..... است و در جهت ..... | میدان اصلی

عرض آرمیچر قرار دارد و به همین جهت این چنین میدانی را «میدان مغناطیسی عرضی آرمیچر» می‌نامند.



میدان اصلی ـ میدان مغناطیسی عرضی آرمیچر

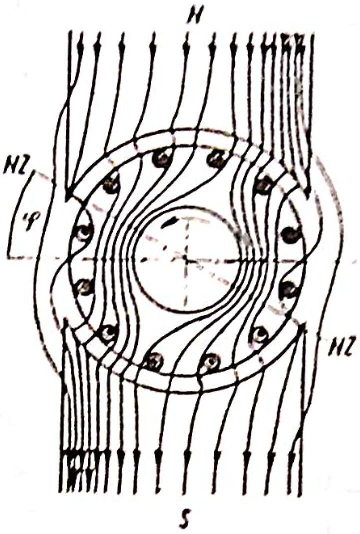
اگر آرمیچری که از آن جریان عبور می‌کند در میدان قطبهای سیم‌پیچ‌های تحریک بچرخد، در آن صورت و بر یکدیگر منطبق می‌شوند که در نتیجه خطوط میدان منتجه مطابق تصویر C، شکل یکنواخت و متقارن خود را از دست می‌دهد. تأثیر میدان مغناطیسی عرضی آرمیچر روی میدان اصلی را «عکس‌العمل آرمیچر» می‌نامند.



عکس‌العمل آرمیچر

به علت خطوط میدان منتجه که ناشی از انطباق میدان اصلی برمیدان مغناطیسی عرضی آرمیچر می‌باشد در یک موتور DC شکل یکنواخت و متقارن خود را از دست می‌دهد. به‌عبارتی عکس‌العمل آرمیچر به دلیل بوجود می‌آید که میدان اصلی و بر یکدیگر منطبق می‌شوند و به همین سبب محور خنثی تئوری (NZ) که به علت فقدان جریان آرمیچر در وسط فاصلهٔ هوائی بین قطبها وجود دارد بر خلاف جهت گردش آرمیچر تغییر مکان می‌دهد.

میدان مغناطیسی عرضی آرمیچر



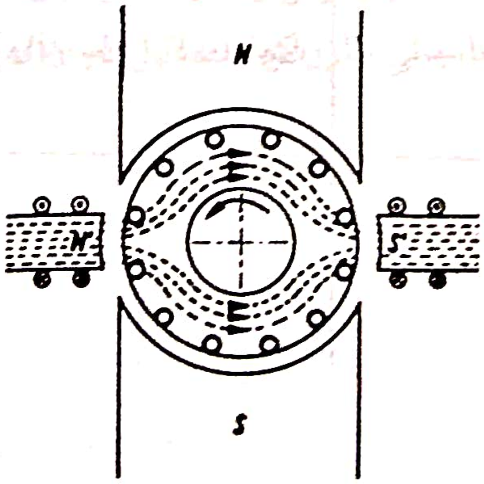
در شکل بالا تصویر «میدان مغناطیسی منتجه» در یک موتور DC نشان داده می‌شود.

عکس‌العمل آرمیچر

به‌علت خطوط میدان مغناطیسی منتجه شکل یکنواخت و متقارن خود را از دست می‌دهد.

در اینجا محور خنثی تئوری (NZ) که باید جاروبکها روی آن قرار بگیرند، به میزان زاویه φ جابجا شده است.

تأثیر منفی عکس‌العمل آرمیچر را می‌توان از این طریق خنثی کرد که جاروبکها به میزان زاویه φ نسبت به محور خنثی تئوری تغییر مکان داده شود یا اینکه در فاصله‌های هوائی بین قطبهای کمکی (قطبهای فرعی) استفاده گردد :

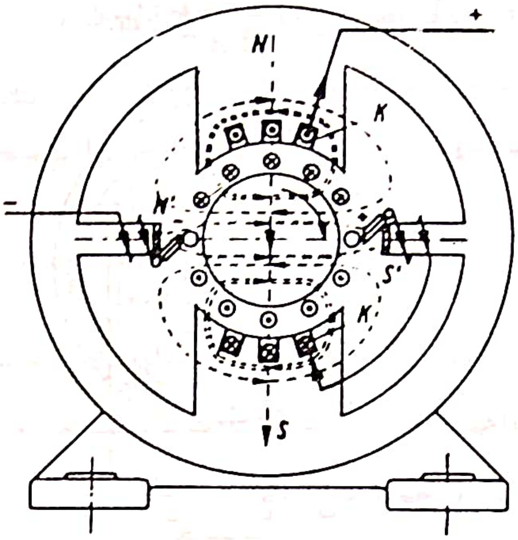


در اینجا قطبهای کمکی توسط جریان آرمیچر تحریک می‌شوند و از آنجائی‌که سیم‌پیچهای قطبهای کمکی با سیم‌پیچهای آرمیچر بطور سری بسته شده‌اند به همین علت میدان مغناطیسی حاصله نیز با میدان مغناطیسی عرضی آرمیچر مخالفت می‌ورزد و آنرا خنثی می‌نماید.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که میدان مغناطیسی عرضی آرمیچر و میدان قطبهای کمکی می‌توانند همدیگر را خنثی کنند.

	از آنجائی‌که عکس‌العمل آرمیچر در ماشینهای DC می‌تواند منجر به سوختن جاروبکها گردد به همین علت نیز در ماشینهای بزرگ باید عکس‌العمل آرمیچر جبران شود. بدین ترتیب که یا با جابجا کردن جاروبکها و یا با نصب از بروز جرقه جلوگیری گردد.
قطبهای کمکی	
قطبهای فرعی	بنابراین سیم‌پیچهای طوری بسته می‌شوند که میدان مغناطیسی عرضی آرمیچر و میدان قطبهای کمکی همدیگر را جبران کنند.

در ماشینهائی که دارای سرعت دوران زیادی هستند این عمل کاهش عکس‌العمل توسط سیم‌پیچ‌های جبران‌کننده یا ترمیم‌کننده (K) انجام می‌شود:



(K) که در کفش‌های قطبی نصب می‌شوند،
باسیم‌پیچهای کمکی و سیم‌پیچهای قطبهای آرمیچر بطور سری قرار می‌گیرند.

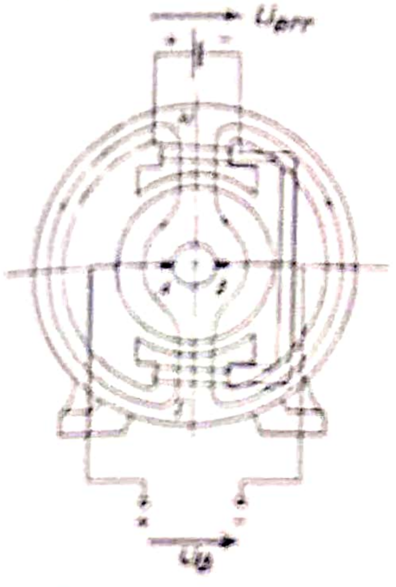
سیم‌پیچهای جبران کننده

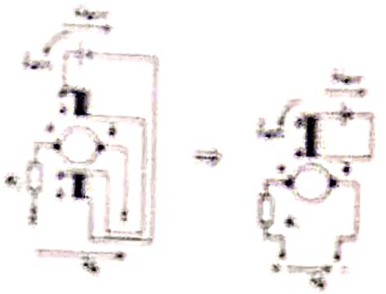
از آنجائی که جریان از   مخالف با جهت جریان آرمیچر عبور می‌کند، در نتیجه در   (K) میدانی ایجاد می‌شود که با میدان حاصل از سیم‌پیچهای آرمیچر مخالفت می‌ورزد.

سیم‌پیچهای جبران کننده ـ سیم‌پیچهای جبران‌کننده

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که میدان‌های مغناطیسی در حالت بارداری در ماشینها یکدیگر را خنثی می‌کنند.

عکس‌العمل آرمیچر در ژنراتورها نیز بوجود می‌آید که اثر آنرا می‌توان با جابجائی جاروبکها و نصب قطب‌های کمکی کاهش داد.





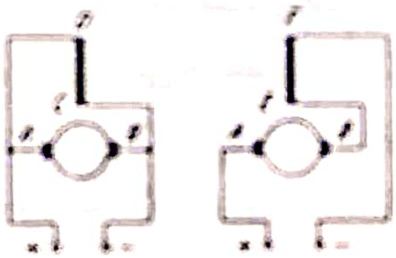
مدار معادل

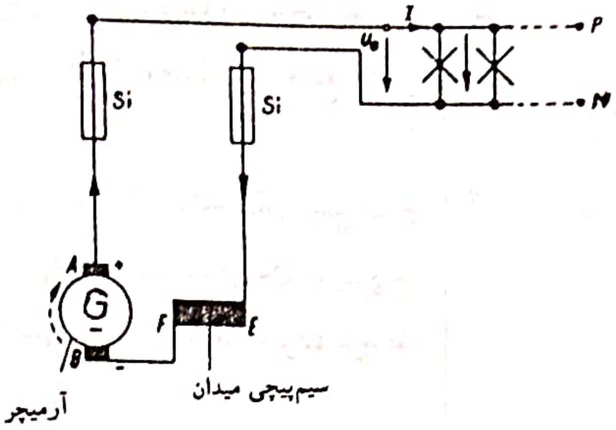
در سمت راست تصویر   یک ماشین DC که در سمت چپ قرار دارد نشان داده می‌شود.

در اینجا میدان تحریک توسط خود ماشین DC تولید نمی‌شود بلکه توسط یک منبع ولتاژ مستقیم خارجی تأمین می‌گردد که به‌همین علت نیز این ماشین DC را یک «ماشین DC با تحریک مستقل یا جداگانه» می‌نامند. این تحریک خارجی می‌تواند همچنین توسط یک آهنربای دائمی نیز ایجاد شود.

تحریک مستقل

بنابراین یک ماشین DC با   ماشینی است که جریان مورد لزوم جهت تحریک سیم‌پیچهای قطبها که باعث تولید شار مغناطیسی مورد نیاز می‌شود، توسط خود ماشین بوجود نمی‌آید بلکه توسط یک منبع ولتاژ خارجی تأمین می‌گردد.

آیا شکل بالا تصویر مدار معادل یک ماشین DC باتحریک مستقل را نشان می‌دهد؟ بله یا خیر؟ زیرا در اینجا جریان مورد لزوم جهت تحریک سیم‌پیچ قطبها توسط یک منبع ولتاژ خارجی تولید نمی‌شود. شکل بالا تصویر یک «ژنراتور DC باتحریک خودی» رانشان می‌دهد زیرا جریان مورد لزوم جهت تحریک سیم‌پیچ قطبها که باعث تولید شار مغناطیسی مورد نیاز می‌شود، توسط خود ژنراتور بوجود می‌آید.	خیر
 در اینجا تصویر مدارهای معادل دو ماشین DC با نشان داده می‌شود.	تحریک خودی
از آنجائی‌که در ماشین DC با که در سمت راست تصویر نشان داده می‌شود، سیم‌پیچ آرمیچر و سیم‌پیچ القاءکننده بطور سری بسته شده‌اند، به همین علت آنرا «تحریک سری» می‌نامند.	تحریک خودی
اگر ماشینی DC با که از نوع تحریک سری است، یک ژنراتور باشد، در آن صورت آنرا «ژنراتور DC سری» می‌نامند.	تحریک خودی



ژنراتور سری

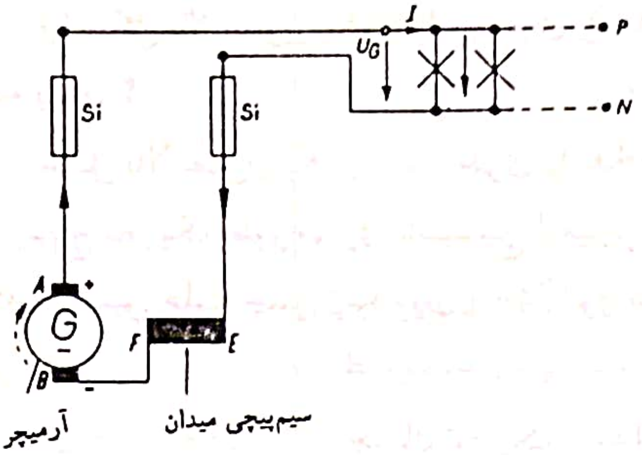
شکل بالا تصویر مدار معادل یک رانشان می‌دهد که جریان را به مداری با هادی‌های مثبت P و منفی N تحویل می‌دهد.

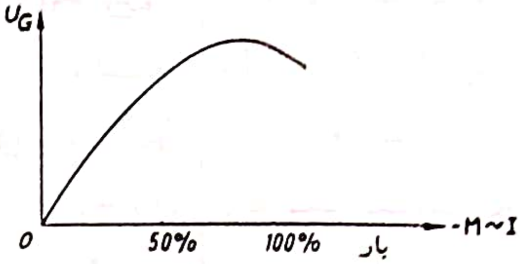
در اینجا مصرف کننده‌هائی به مدار بسته شده‌اند. ژنراتور به علت اتصالهای کوتاه در مدار در مقابل جریانهای خیلی زیاد توسط فیوز یا سیم ذوب شونده حفاظت می‌شود زیرا در اثر عبور شدت جریان معینی سیم داخل فیوز ذوب می‌شود و در نتیجه مدار جریان قطع می‌گردد. سیم‌پیچ آرمیچر AB و سیم‌پیچ تحریک EF ژنراتور سری بطور سری بسته شده‌اند که در نتیجه

ژنراتور سری

جریان آرمیچر بطور کامل در از سیم‌پیچ میدان نیز عبور می‌کند.

بنابراین به علت آنکه جریان زیادی از سیم‌پیچ تحریک عبور می‌کند، سیم‌پیچ آرمیچر و سیم‌پیچ تحریک فقط از سیم‌های کلفت با تعداد دورهای کم ساخته می‌شود.

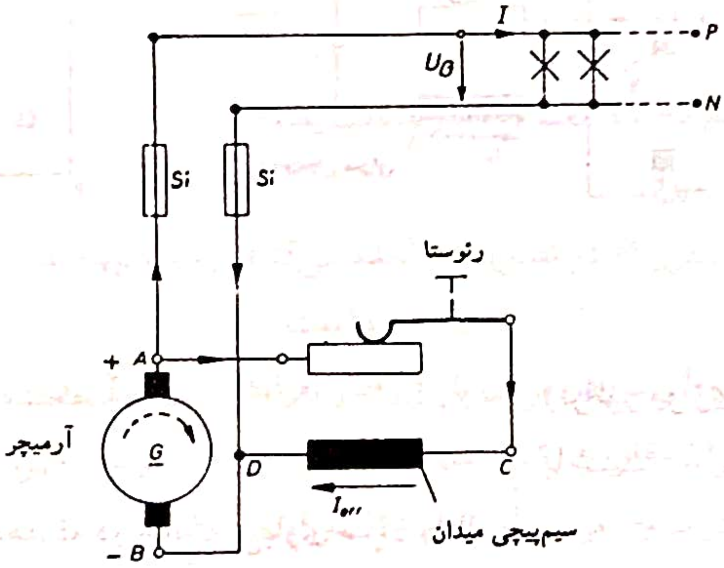




ژنراتور سری

در سمت چپ تصویر مدار معادل و در سمت راست منحنی مشخصهٔ یک نشان داده می‌شود.

منحنی مشخصه نشان می‌دهد که اگر مصرف‌کننده‌ای به ژنراتور بسته شود با برقرار شدن جریان میزان شار نیز افزایش می‌یابد که در این حالت میزان ولتاژ ترمینال U_G نیز تا یک نقطهٔ مشخص بنام «نقطه پایدار» افزایش می‌یابد که در این حالت هسته به حالت اشباع می‌رسد. در حالی‌که پس از رسیدن به نقطهٔ پایدار در صورت ادامهٔ افزایش بار از میزان ولتاژ دوباره، کاسته می‌شود و میزان ولتاژ ترمینال U_G بطور شدیدی افت می‌کند. بنابراین می‌توان نتیجه گیری کرد که وابستگی ولتاژ به بار خطی است.



آیا شکل بالا تصویر یک ژنراتور سری رانشان می‌دهد؟

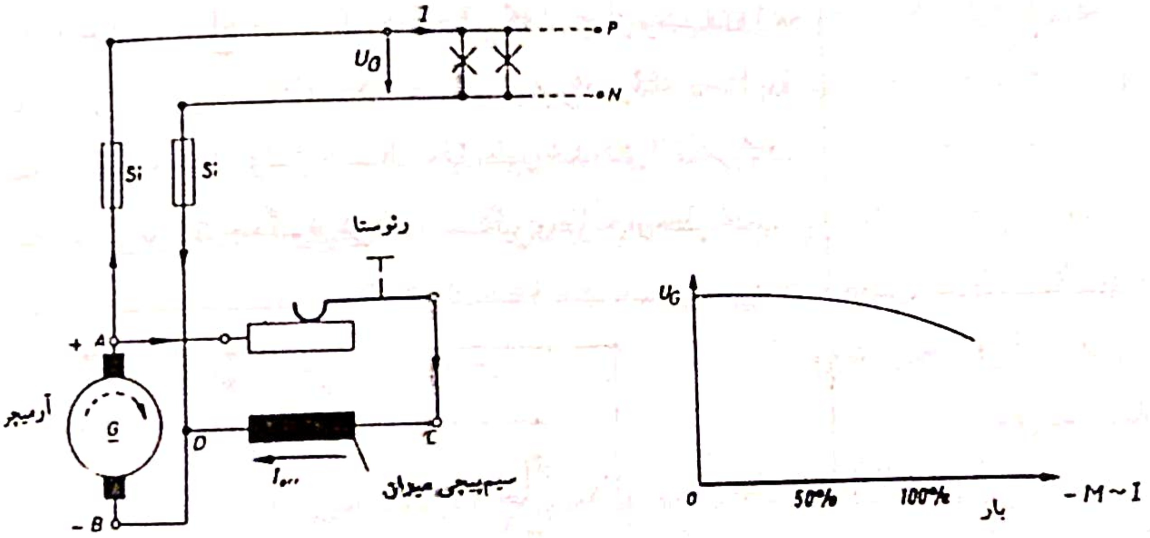
بله یا خیر؟

خیر

شکل بالا تصویر یک ژنراتور سری را نشان نمی‌دهد زیرا سیم‌پیچ تحریک بطور موازی باسیم‌پیچ آرمیچر بسته شده است که به همین علت چنین ژنراتوری را «ژنراتور موازی یا شنت» می‌نامند.

در   جریان تحریک از مدار خارجی گرفته می‌شود و از آنجائی که به‌منظور ایجاد میدان مغناطیسی از مدار خارجی فقط میزان جریان کمی باید گرفته شود و به عبارتی جریان کمی از سیم‌پیچ تحریک می‌گذرد، بنابراین در سیم‌پیچ تحریک از سیم‌های نازک ولی باتعداد دور کم استفاده می‌شود.

ژنراتور موازی یا شنت



در سمت راست منحنی مشخصهٔ یک   نشان داده می‌شود.

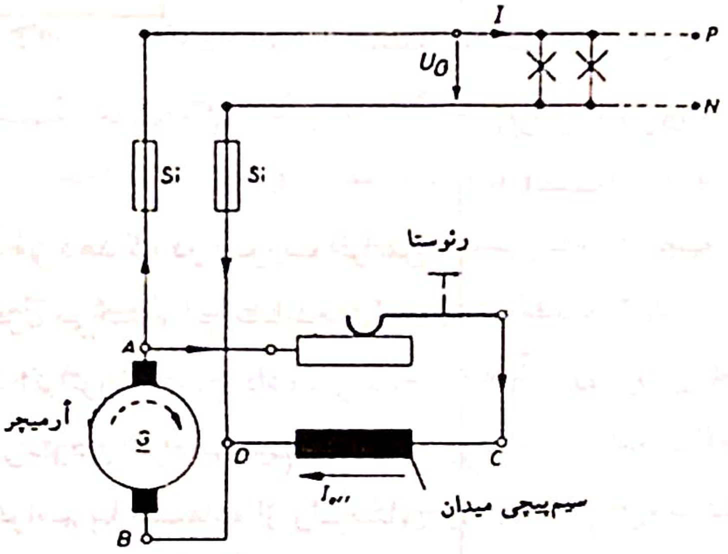
ژنراتور موازی یا شنت

منحنی مذکور نشان می‌دهد که در حالت بی‌باری میزان ولتاژ

حداکثر است ولی در صورت افزایش جریان بار، میزان ولتاژ بتدریج کاهش می‌یابد. بنابراین در صورتی می‌توان از افت شدید ولتاژ جلوگیری کرد که به مدار سیم‌پیچی میدان (مدار تحریک) مقاومت قابل تنظیمی بسته شود.

رئوستای تحریک موازی

این مقاومت قابل تنظیم را «رئوستای تحریک موازی» نیز می‌نامند. بنابراین میزان جریان تحریک می‌تواند توسط کنترل شود.



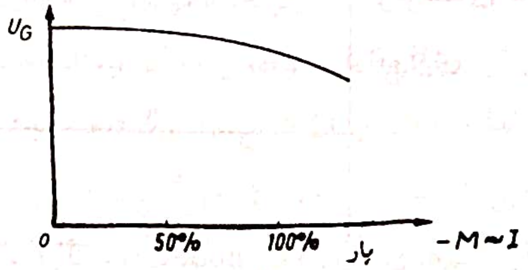
ژنراتور موازی یا شنت

در شکل بالا تصویر مدار معادل یک نشان داده می‌شود.

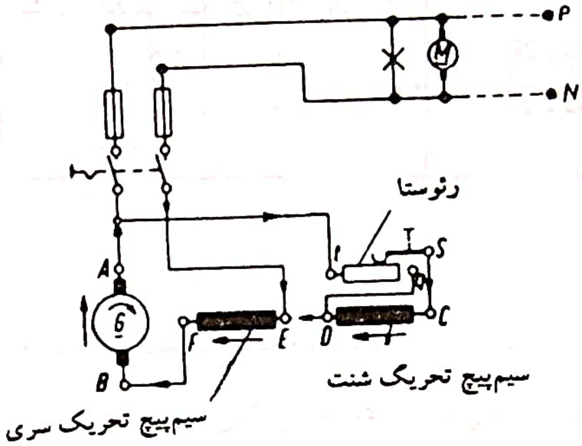
رئوستای تحریک موازی

همانطور که در تصویر مشاهده می‌کنید، به سیم‌پیچ میدان یک بسته شده است .

حال اگر میزان جریان بار ژنراتور افزایش یابد درآن صورت باید میزان مقاومت کمتر شود تا میزان جریان تحریک افزایش یابد و در نتیجه میزان ولتاژ در حالت پایدار بماند.

رئوستای تحریک موازی -رئوستای تحریک موازی	از آنجائی‌که میزان جریان تحریک می‌تواند توسط تنظیم شود، در نتیجه به علت همین تنظیم جریان تحریک توسط می‌توان از سقوط شدید ولتاژ در حالت بارداری جلوگیری کرد.
ژنراتور موازی یا شنت	 شکل بالا تصویر منحنی مشخصهٔ نامنظم یک را نشان می‌دهد. منحنی مذکور در اینجا نشان می‌دهد که در صورت افزایش جریان بار، ولتاژ به میزان کمی تنزل می‌کند و این نشاندهندهٔ آن است که میزان ولتاژی که توسط ژنراتور تحویل داده می‌شود وابستگی کمی به میزان جریان بار دارد و اگر بخواهیم میزان این وابستگی بار هم کمتر شود می‌توانیم با استفاده از رئوستای تحریک موازی میزان جریان تحریک راتنظیم کنیم .

ژنراتور کمپوند



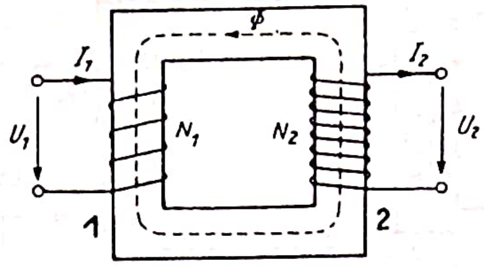
دیاگرام یک ژنراتور کمپوند

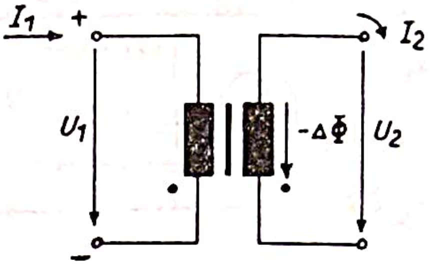
در ژنراتور کمپوند مطابق تصویر بالا قطبهای مغناطیسی توسط دو سیم‌پیچ جداگانه تحریک می‌شوند، سیم‌پیچ تحریک سری - EF که دارای سیم کلفت با تعداد دور کم است که بطور سری با آرمیچر در مدار بسته می‌شود و سیم‌پیچ تحریک شنت CD که دارای سیم نازک باتعداد دور زیاد است و مانند رئوستای تحریک موازی بطور موازی با آرمیچر در مدار بسته می‌شود. بنابراین در این حالت میدان سیم‌پیچ تحریک سری با میدان سیم‌پیچ تحریک شنت برهم منطبق می‌شوند.

در واقع یک ژنراتور کمپوند از یک ژنراتور موازی یا شنت تشکیل شده است که یک سیم‌پیچ تحریک سری به آن بسته شده است تا در صورت افزایش جریان بار، میزان جریان تحریک در سیم‌پیچ تحریک سری افزایش و در سیم‌پیچ تحریک شنت کاهش پیدا کند.

بدین ترتیب از طریق ایجاد یک ارتباط مناسب در تعداد دور هر دو سیم‌پیچ‌ها، تحریک حاصله و در نتیجه میزان ولتاژ ترمینال به میزان جریان بار غیروابسته می‌شود.

در تأسیسات تأمین الکتریسته در دستگاههای نورد و کارخانجات عظیم ذوب فلزات مورد استفاده قرار می‌گیرند به‌طوریکه می‌توان میزان شدید تغییرات جریان بار را محاسبه کرد.	ژنراتورهای کمپوند





در سمت تصویر شماتیک و در سمت راست مدار معادل یک ترانسفورماتور نشان داده می‌شود.

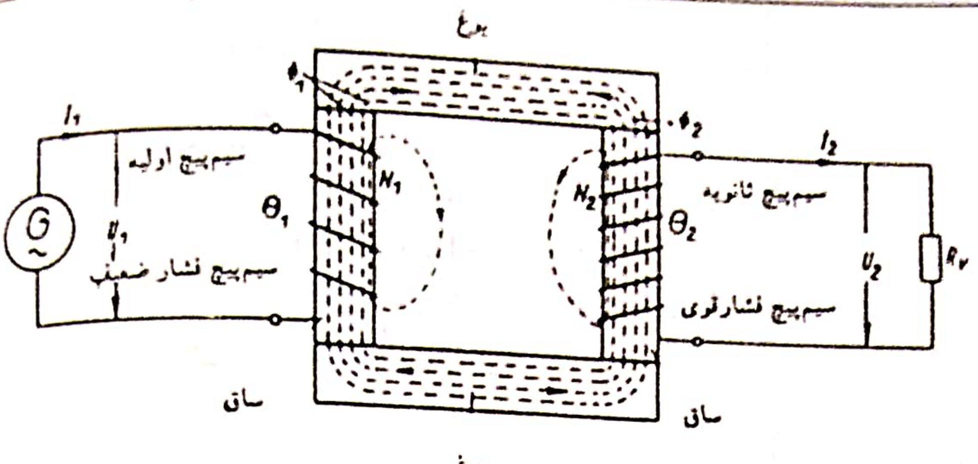
ترانسفورماتور

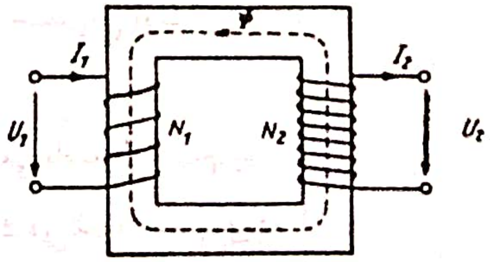
این از دو سیم‌پیچ تشکیل شده است و دارای یک هستهٔ آهنی بدون شکاف هوائی می‌باشد. در این حالت جهت پیچش سیم‌پیچها نیز بر روی هسته مخالف یکدیگرند و سیم‌پیچها در هستهٔ آهنی روی میدان مغناطیسی توسط کوپله شده‌اند.

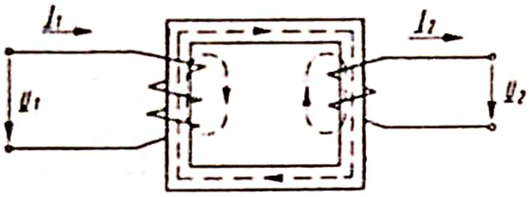
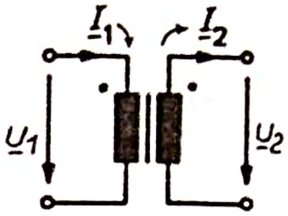
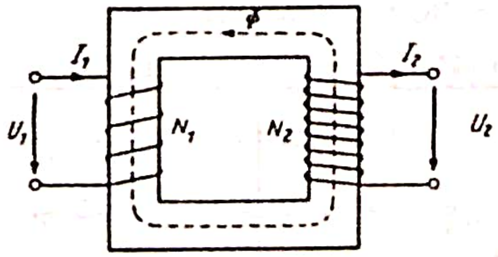
شارمغناطیسی

حال اگر از سیم‌پیچ اول جریان متناوبی عبور کند در آن صورت مطابق قانون اندوکسیون در سیم‌پیچ دوم ولتاژی با همان فرکانس القاء می‌شود که در این حالت ولتاژها با یکدیگر هم‌فاز هستند. در حالیکه اگر جهت پیچش سیم‌پیچها یکسان باشد، ولتاژ دو سر سیم‌پیچ دوم می‌تواند با ولتاژ سیم‌پیچ اول °۱۸۰ اختلاف فاز داشته باشد.

سیم‌پیچ تحریک را «سیم‌پیچ اولیه» نیز می‌نامند و همچنین سیم‌پیچی که در آن اندوکتانس متقابل ایجاد می‌شود، «سیم‌پیچ ثانویه» نامیده می‌شود.



در شکل بالا تصویر یک «ترانسفورماتور تکفاز» نشان داده می‌شود که دارای یک .... و یک .... می‌باشد و در این حالت سیم‌پیچها بر روی یک هستهٔ آهنی بدون شکاف هوائی پیچیده شده‌اند. قسمتی از هستهٔ آهنی که سیم‌پیچها بر روی آن پیچیده شده‌اند، «ساق ترانسفورماتور» نامیده می‌شود.	سیم‌پیچ اولیه ـ سیم‌پیچ ثانویه
در اینجا این .... دارای دو ساق ترانسفورماتور می‌شود که قسمتهای ارتباطی بین هر یک از دو ساق را «یوغ» یا «بدنه» می‌نامند.	ترانسفورماتور تکفاز
 در اینجا تصویر یک .... نشان داده می‌شود. این ترانسفورماتور دارای چهار دور سیم‌پیچ و .... آن دارای ۸ دور سیم‌پیچ می‌باشد به طوری که	ترانسفورماتور تکفاز ـ سیم‌پیچ اولیه ـ سیم پیچ ثانویه

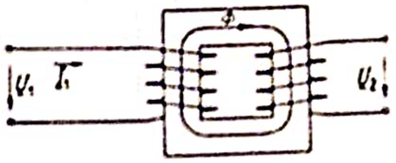
سیم‌پیچها بر روی ساقهای ترانسفورماتور قرار دارند و ساقهای ترانسفورماتور نیز از طریق به‌یکدیگر ارتباط پیدا می‌کنند. بنابراین در این حالت شار مغناطیسی از ساقها و یوغ‌ها عبور می‌کند.	یوغ
 در اینجا تصویر یک نشان داده می‌شود. سیم‌پیچ اولیه سیم‌پیچی است که توان طلب می‌کند و سیم‌پیچ ثانویه سیم‌پیچی است که توان از دست می‌دهد. سیم‌پیچی که میزان ولتاژ بالاتری نسبت به نقطهٔ مرجع (زمین) دارد، سیم‌فشار قوی نامیده می‌شود. در این ترانسفورماتور که تصویر آن در شکل بالا نشان داده می‌شود، سیم‌پیچ اولیه یک است.	ترانسفورماتور تکفاز سیم‌پیچ فشارقوی
 در ترانسفورماتوری که در شکل بالا نشان داده می‌شود،	

سیم‌پیچ فشار قوی
سیم‌پیچ فشار ضعیف

سیم‌پیچ ثانویه یک   و سیم‌پیچ اولیه یک
است.

یک سیم‌پیچ فشار ضعیف، سیم‌پیچی است که میزان ولتاژ پایینتری نسبت به نقطهٔ مرجع (زمین) دارد.

بنابراین فشار قوی یا فشار ضعیف بودن سیم‌پیچ‌ها بستگی به تعداد دور سیم‌پیچی دارد.



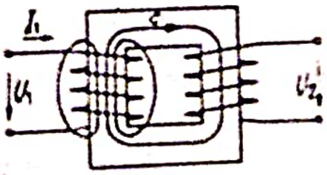
ترانسفورماتور تکفاز

در اینجا تصویر یک   دیده می‌شود.

تعداد دور سیم‌پیچی N در سیم‌پیچ اولیهٔ N_1 با سیم‌پیچ N_2 برابر است و به همین جهت نیز در صورت جزئی بودن کلیهٔ تلفات، ولتاژی که در سیم‌پیچ ثانویه القاء می‌شود برابر با ولتاژ اعمال شده می‌باشد.

این برابری فرکانس در ترانسفورماتور تکفاز از طریق منبع جریان متناوب ایجاد می‌شود که در این حالت برابری دامنه نیز به‌وجود می‌آید زیرا $N_1 = N_2$ است.

در اینجا در این حالت ولتاژها هم فاز هستند زیرا جهت پیچش سیم‌پیچها مخالف یکدیگر است.



در این ترانسفورماتور ولتاژ اولیه و ولتاژ ثانویه هم فرکانس، هم فاز و دارای دامنهٔ یکسانی هستند زیرا نسبت تعداد دور سیم‌پیچی 1:1 است که این نسبت تعداد دور سیم‌پیچی را «نسبت دورها» یا «نسبت تبدیل» در ترانسفورماتور نیز می‌نامند.

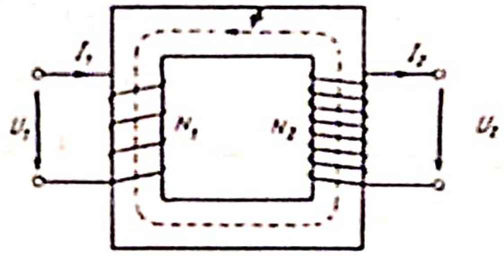
بنابراین در مورد نسبت تبدیل ولتاژ معتبر است:

$$\ddot{u}_U = \frac{N_1}{N_2}$$

نسبت تبدیل ولتاژ

بنابراین .... در این ترانسفورماتور می‌شود:

$$\ddot{u}_U = \frac{4}{4} = \frac{1}{1}$$



آیا نسبت تبدیل ولتاژ $\ddot{u}_U$ در این ترانسفورماتور 1:1 است؟ بله یا خیر؟

خیر

نسبت‌تبدیل ولتاژ

در اینجا .... 1:1 نیست زیرا تعداد دور سیم‌پیچ اولیه با تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه برابر نیست.

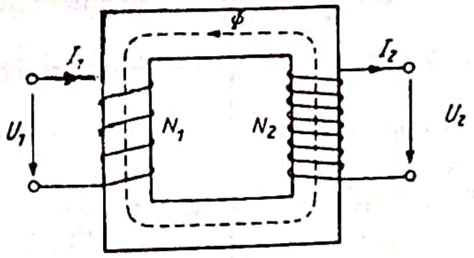
نسبت تبدیل ولتاژ

در این ترانسفورماتور .... از یک کمتر است زیرا N_2 بزرگتر از N_1 می‌باشد.

از آنجائیکه تعداد دور سیم‌پیچی در سیم‌پیچ ثانویه بزرگتر از سیم‌پیچ اولیه است. به همین علت نیز ولتاژ ثانویه از ولتاژ اولیه بزرگتر است.

بنابراین میزان ولتاژ القاء شده در سیم‌پیچ ثانویه باتوجه به

تغییر جریان در سیم‌پیچ اولیه تعیین می‌گردد.



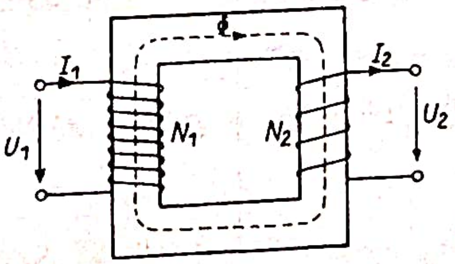
اگر در یک ترانسفورماتور میزان ولتاژ ثانویه از میزان ولتاژ اولیه بیشتر باشد، آن ترانسفور را یک «ترانسفورماتور افزاینده» می‌نامند.

ترانسفورماتور افزاینده

در یک نسبت تبدیل ولتاژ $\ddot{u}_U < 1$ است و در صورتی که میزان ولتاژ ثانویه از میزان ولتاژ اولیه کمتر باشد، آن ترانسفورماتور را یک «ترانسفورماتور کاهنده می‌نامند.

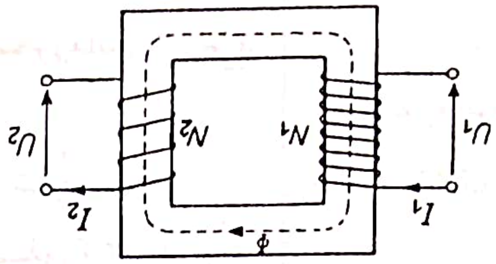
ترانسفورماتور کاهنده

در یک نسبت تبدیل ولتاژ $\ddot{u}_U > 1$ است.



ترانسفورماتور کاهنده

شکل بالا تصویر یک را نشان می‌دهد. زیرا میزان ولتاژ القاء شده کمتر از میزان ولتاژ اعمال شده می‌باشد و در این حالت نسبت تبدیل ولتاژ $\ddot{U}_U > 1$ است.



نسبت تبدیل ولتاژ

در این ترانسفورماتور $\ddot{U}_U > 1$ می‌شود

زیرا $N_1 > N_2$ است.

بنابراین در مورد نسبت تبدیل شدت جریان در ترانسفورماتور فاقد تلفات صدق می‌کند:

$$\ddot{u}_1 = \frac{N_2}{N1}$$

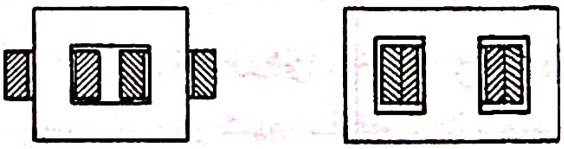
از آنجائیکه در صورت فقدان تلفات میزان توان ورودی برابر با میزان توان خروجی می‌باشد بنابراین $P_1 = P_2$ است و در نتیجه صدق می‌کند:

$$I_1U_1 = I_2U_2$$

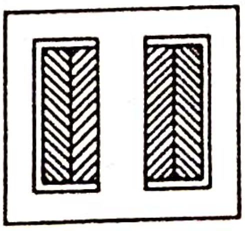
و به عبارتی اگر $U_1 > U_2$ باشد، در آن صورت $I_1 > I_2$ می‌شود.

نسبت تبدیل شدت جریان

بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که درست برعکس نسبت تبدیل ولتاژ است.

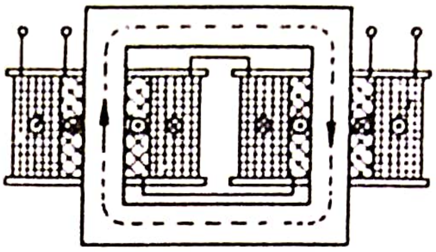


در اینجا تصویر دو ترانسفورماتور دیده می‌شود.	تکفاز
در شکل سمت چپ تصویر یک ترانسفورماتور از نوع هسته‌ای نشان داده می‌شود که در این ساقها توسط سیم‌پیچهائی به‌طور کامل احاطه شده است.	ترانسفورماتور از نوع هسته‌ای
آیا شکل سمت راست نیز تصویر یک ترانسفورماتور از نوع هسته‌ای را نشان می‌دهد؟ بله یا خیر ؟	خیر
تصویر سمت راست مربوط به یک ترانسفورماتور از نوع هسته‌ای نمی‌باشد زیرا در این نوع ترانسفورماتور فقط یک ساق که همان ساق وسطی است توسط سیم‌پیچها احاطه شده است. در این حالت ساق وسطی بصورت زرهی توسط دو ساق دیگر محصور شده است که به همین جهت این نوع ترانسفورماتور را «ترانسفورماتور از نوع زرهی» می‌نامند.	
بنابراین هر دو نوع ترانسفورماتورها در تصویر بالا از نوع ترانسفورماتور تکفاز هستند به‌طوریکه سمت چپ از نوع هسته‌ای و سمت راست از نوع زرهی می‌باشد.	ترانسفورماتور تکفاز - ترانسفورماتور تکفاز



در شکل بالا تصویر یک ترانسفورماتور تکفاز از نوع زرهی دیده می‌شود.	
در یک ساق وسطی بصورت زرهی توسط سیم‌پیچ دو ساق دیگر محصور شده است بطوریکه سیم‌پیچ	ترانسفورماتور تکفاز از نوع زرهی

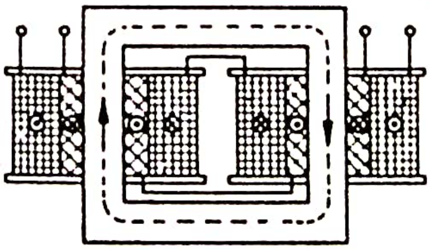
اولیه و ثانویه روی ساق وسطی قرار دارند.



ترانسفورماتور تکفاز از نوع هسته‌ای

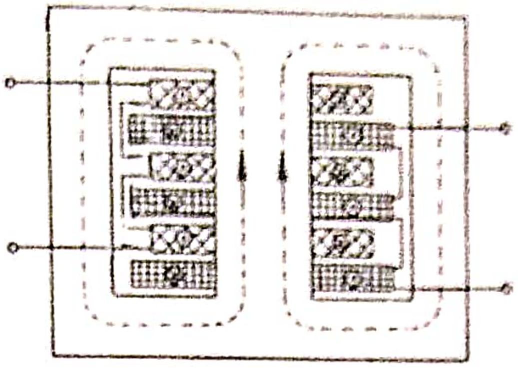
در اینجا تصویر یک نشان داده می‌شود.

در این ترانسفورماتور از نوع هسته‌ای سیم‌پیچ مربوط به‌فشار ضعیف بصورت استوانه‌ای شکل دور هسته پیچیده شده است بطوریکه جهت سیم‌پیچ مربوط به فشار قوی در جهت مخالف سیم‌پیچ مربوط به فشار ضعیف قرار می‌گیرد و در این حالت نوع سیم‌پیچی شکل استوانه‌ای دارد.



در شکل بالا تصویر یک ترانسفورماتور تکفاز از نوع هسته‌ای با سیم‌پیچی استوانه‌ای شکل نشان داده می‌شود.

در این نوع ترانسفورماتور سیم‌پیچ فشار قوی و سیم‌پیچ فشار ضعیف که برخلاف جهت یکدیگر پیچیده شده اند، دور هسته قرار گرفته‌اند و در این حالت سیم‌پیچهای فشار ضعیف و فشار قوی بطور سری بسته شده‌اند.



آیا این نوع ترانسفورماتور تکفاز از نوع زرهی دارای سیم‌پیچی استوانه‌ای شکلی است؟ بله یا خیر؟

خیر

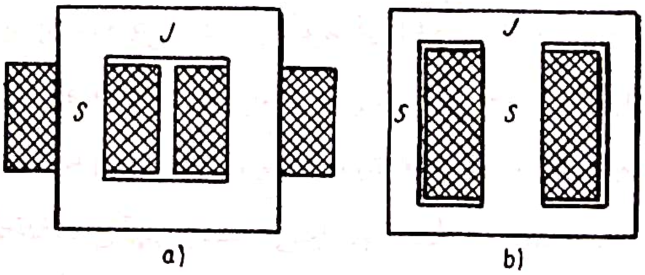
این نوع ترانسفورماتور تکفاز از نوع زرهی دارای سیم‌پیچی استوانه‌ای شکلی نمی‌باشد بلکه سیم‌پیچی آن بصورت مورق است. در این نوع سیم‌پیچی مورقی شکل، سیم‌پیچ فشار ضعیف و سیم‌پیچ فشار قوی به صورت تعدادی سیم‌پیچ بطور لایه لایه روی هم قرار گرفته و بصورت سری بسته شده‌اند.

انواع ترانسفورماتورها

از جمله مشخصات متمایز ترانسفورماتورها از یکدیگر مدل ساختمان هسته‌های آنها و شکل سیم‌پیچی‌هایشان می‌باشد بطوری‌که بصورت ترانسفورماتور از و ترانسفورماتور از ساخته می‌شوند. در ترانسفورماتور از مطابق شکل 1a ساقها توسط سیم‌پیچهائی به‌طور کامل محصور شده‌اند در حالیکه در ترانسفورماتورهای از مطابق شکل 1b هر دو سیم‌پیچی‌ها که دور ساق وسطی قرار دارند توسط دو ساق دیگر به‌طور زرهی احاطه شده‌اند که البته در هر دو نوع ترانسفورماتور مذکور سیم‌پیچی نشده‌اند.

به‌طور کلی به‌منظور کاهش دادن تلفات جریان گردابی هستهٔ آهنی ترانسفورماتور را از ورقه‌های آهنی نازکی که از نظر الکتریکی نسبت به یکدیگر ایزوله می‌باشند، بصورت لایه لایه می‌سازند.

نوع هسته‌ای -
نوع زرهی -
نوع هسته‌ای
نوع زرهی
یوغ‌ها



شکل ۱ : دو مدل مختلف ترانسفورماتور

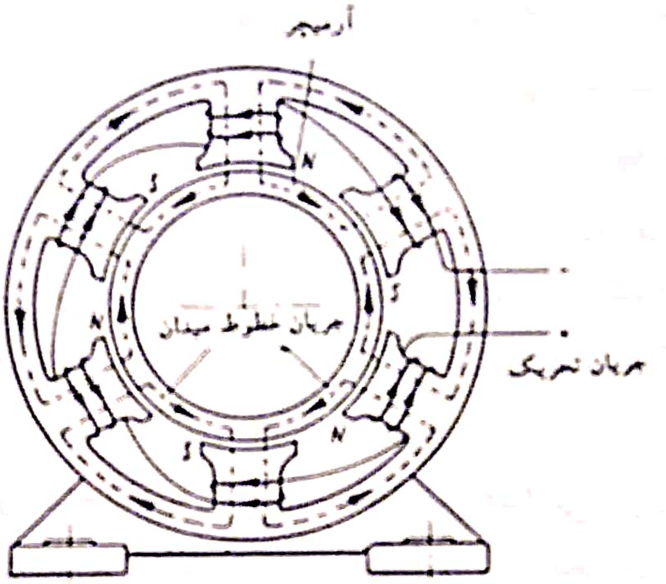
a) ترانسفورماتور از نوع هسته‌ای

b) ترانسفورماتور از نوع زرهی

شامل ساق S، هسته و یوغ J

در هر ترانسفورماتور سیم‌پیچ می‌تواند بصورت سیم‌پیچی استوانه‌ای یا مورقی شکل ساخته شود که براساس آن یا سیم‌پیچ اولیه و سیم‌پیچ ثانویه بصورت سیم‌پیچی‌هائی با یک محور مشترک پیچیده می‌شوند یا اینکه دارای سیم‌پیچی‌های صافی هستند که با ضخامت یکسان به‌نوبت روی یکدیگر بصورت لایه لایه قرار می‌گیرند.

ژنراتورها



شکل ۱ : ماشین با قطبهای خارجی

هر ژنراتور از یک قسمت ساکن استاتور و یک قسمت دوار روتور تشکیل شده است. در ژنراتورهای DC قطبهای مغناطیسی در قسمت استاتور قرار دارند که این چنین ماشینهائی را «ماشین‌های DC با قطبهای خارجی» می‌نامند. استاتور از یک یوغ حلقه‌ای شکلی تشکیل شده است که به آن ساق قطبی با کفشهای قطبی پیچ داده شده است و جنس یوغ از چدن یا فولاد ریخته‌گری، ساقهای قطبی با کفشهای قطبی پیچ داده شده است و جنس یوغ از چدن یا فولاد ریخته‌گری، ساقهای قطبی و کفشهای قطبی نیز اغلب از ورق دینامو ساخته می‌شوند تا بتوانند میزان تلفات مغناطیسی را پایین نگه دارند.

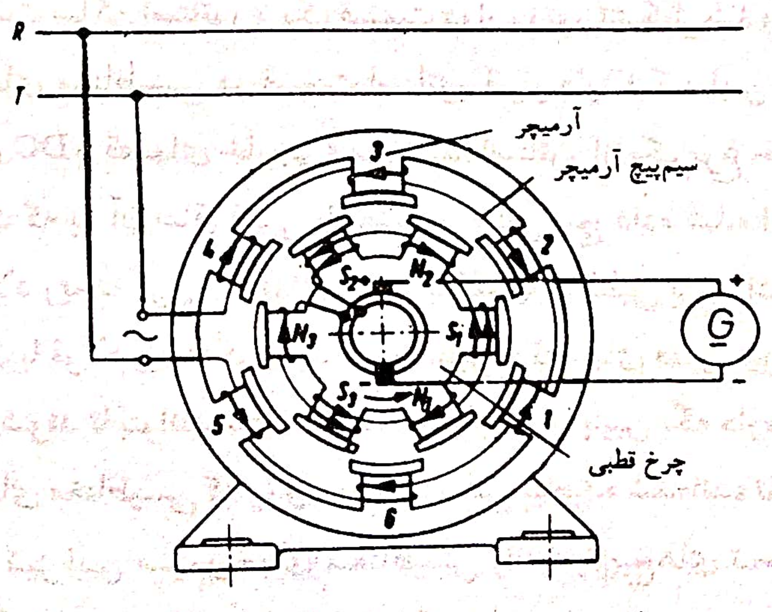
از آنجائیکه سیم‌پیچ‌های مغناطیسی که روی ساقهای قطبی پیچیده شده‌اند، تحریک می‌شوند به همین علت نیز این سیم‌پیچهای مغناطیسی را «سیم‌پیچ‌های تحریک» می‌نامند و جریانی که از آنها عبور می‌کند «جریان تحریک» نامیده می‌شود.

علاوه بر خصوصیات مغناطیسی هستهٔ آهنی، شدت میدان مغناطیسی نیز باتوجه به تعداد دور سیم‌پیچ تحریک تعیین می‌گردد بطوریکه میزان شدت میدان مغناطیسی یا در صورت ضعیف بودن عبور جریان تحریک از سیم‌پیچ تحریکی که دارای سیم‌های نازک

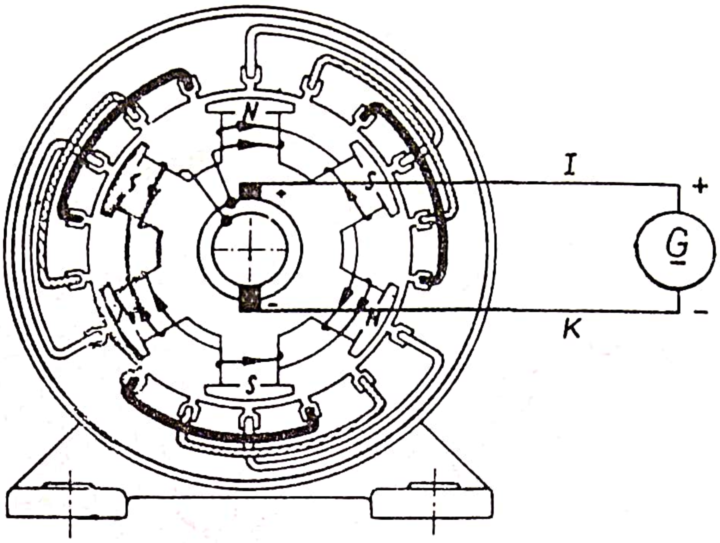
با تعداد دور کم است، افزایش می‌یابد و یا در صورت شدید بودن عبور جریان تحریک از سیم‌پیچ تحریکی که دارای سیم‌های کلفت با تعداد دور کم است، زیاد می‌شود.

شکل شمارهٔ ۲ مدار اصلی یک ژنراتور AC را که دارای قطب‌های خارجی است، نشان می‌دهد. برخلاف ماشینهائی که دارای قطب‌های خارجی هستند، در اینجا قطب‌های مغناطیسی در قسمت روتور و سیم‌پیچهای اندوکسیون در قسمت استاتور قرار دارند. مزیت این آرایش آن است که اگر بخواهیم میزان ولتاژ متناوب زیادی از سیم‌پیچ ساکن استاتور گرفته شود و به مدار خارجی که به آن ارتباط دارد، وارد شود، فقط باید میزان ولتاژ مستقیم کمی از طریق جاروبکهایا اسلیپ رینگها به منظور تحریک به قطبها وارد شود.

ژنراتورهای AC باید بصورت جداگانه تحریک شوند و به عبارتی دارای تحریک جداگانه باشند. در این نوع ژنراتورها جریان مستقیمی که برای این تحریک مورد نیاز است از یک ژنراتور شنت DC گرفته می‌شود که اکثراً بامحور ژنراتور کوپله شده است.



شکل ۲ : تصویر شماتیک مدار یک ژنراتور متناوب (AC) با قطبهای داخلی



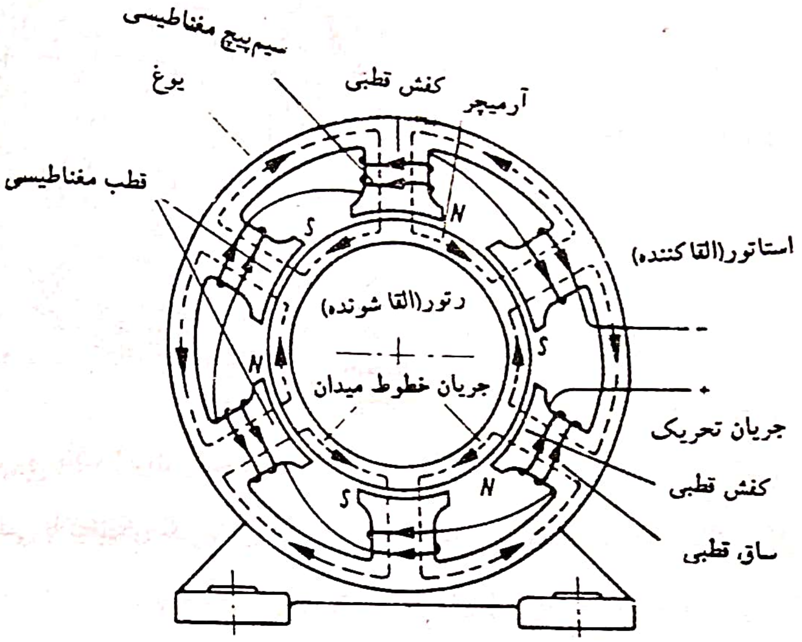
شکل ۳: سیم‌پیچ یک ژنراتور سه فازه
۶ قطبی با قطبهای خارج

ژنراتورهای سه فازهٔ صنعتی مانند ژنراتورهای تکفاز AC مطابق شکل ۳ بصورت ماشینهائی با قطبهای داخلی ساخته می‌شود و سیم‌پیچ تحریک چرخ قطبی در هر صورت از یک ژنراتور شنت DC که با محور ژنراتور کوپله شده است، تغذیه می‌کند.

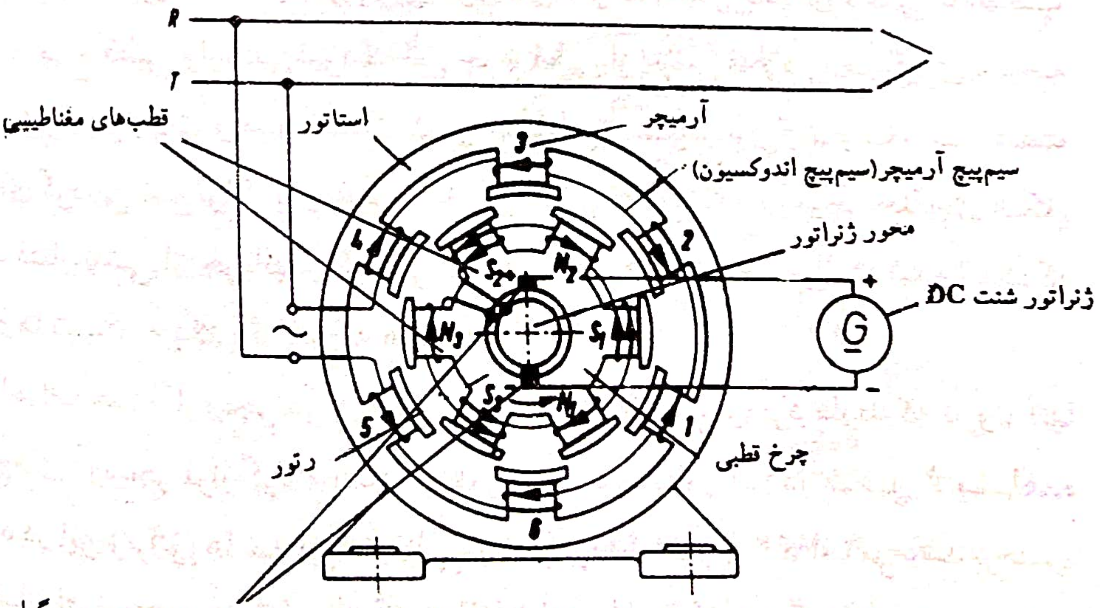
بدین ترتیب جریان مستقیم از طریق سیم‌های I و K، جاروبکهای ذغالی یا اسلیپ رینگها به چرخ قطبی وارد می‌شود که این چرخ قطبی از جنس فولاد ریخته‌گیری ساخته می‌شود زیرا هم‌جهت و هم شدت شار مغناطیسی تغییر می‌کند و به‌همین علت جریانهای گردابی نمی‌تواند به‌وجود بیایند. در حالی که برعکس آرمیچر حلقه‌ای شکل به علت فشار ناشی از جریانهای گردابی از جنس ورق‌های دینامو درست شده است که این ورق‌ها نسبت به یکدیگر ایزوله هستند.

در اطراف هستهٔ آرمیچر نیز در جهت محوری شیارهائی وجود دارند که درون آنها سیم‌پیچ‌های آرمیچر قرار گرفته است. بطور مثال همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود در این ژنراتورها سه فازهٔ ۶ قطبی که دارای ۱۸ شیار و ۹ کلاف می‌باشد برحسب تعداد شیارهای متعلق به هر قطب که آن را «گام قطبی» می‌نامند، سه گام قطبی وجود دارد.

بنابراین در یک رتور ۶ قطبی ۱۸ شیار (۳ × ۶) وجود دارد که در نتیجه مجموعاً سه شیار به هر قطب تعلق می‌گیرد.

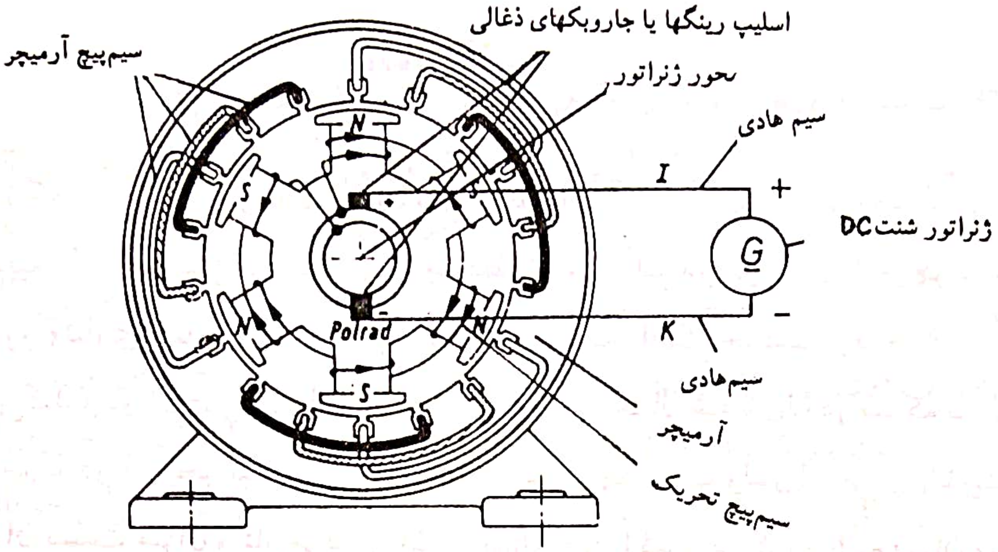


ماشین با قطب خارجی



ماشین با قطب داخلی

ژنراتور AC



ماشین با قطب داخلی (ژنراتور سه فازه)

موتور DC

ولتاژ القائی

از آنجائیکه در آرمیچر در حال دوران یک موتور الکتریکی، میزان شار مغناطیسی در داخل سیم‌پیچهای آن تغییر می‌کند، در نتیجه مطابق قانون لنز در سیم‌های آرمیچر موتور مانند ژنراتور ولتاژی القاء می‌شود که با ولتاژ اعمالی که باعث حرکت آرمیچری شود، مخالفت می‌کند و در آن صورت تأثیر این اختلاف ولتاژ اعمال شدهٔ U_G در شبکهٔ با ولتاژ القاء شدهٔ U_{ind} در آرمیچر بیشتر می‌شود بطوریکه هرچه میزان ولتاژ القائی U_{ind} بیشتر شود به همان نسبت میزان ولتاژ موثر $U_G - U_{ind} = \Delta U_M$ کمتر می‌گردد البته میزان ولتاژ القائی U_{ind} به تغییر شار مغناطیسی در سیم‌پیچهای آرمیچر و همچنین به میزان سرعت چرخش آرمیچر وابستگی دارد. در موتورهای الکتریکی بی‌بار که به همین جهت دارای سرعت دوران زیادی هستند، میزان ولتاژ القائی U_{ind} زیاد بوده و میزان ولتاژ موثر و در نتیجه جریانی که از موتور گرفته می‌شود کم می‌باشد در حالی‌که با افزایش میزان بار تعداد دوران موتور و در پی آن میزان ولتاژ القائی U_{ind} کاهش می‌یابد. به‌همین جهت نیز در صورت افزایش بار، جریان شدیدی طلب می‌کند که در نتیجه میزان این گرفتن جریان موتور بطور اتوماتیک با میزان بار موجود متناسب است.

اما مادامیکه موتور در حالت ایستاده است باید فقط آن مقدار توانی توسط آرمیچر از شبکه گرفته شود که برای ایجاد حالت پایدار در دوران موتور مورد لزوم می‌باشد و به منظور غلبه بر نیروی اصطکاک و مقاومت هوا از آن استفاده می‌شود که البته در مقایسه با توان مفید به صورت کار مکانیکی، میزان این تلفات بسیار کم و ناچیز بوده و به‌همین جهت در صورت افزایش بار باید میزان توان مورد لزوم از شبکه گرفته شود. در این حالت باید میزان توانی که توسط آرمیچر از شبکه گرفته می‌شود با میزان توان مفید اضافه بر کل تلفات برابر باشد.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که میزان توان وارد شده به آرمیچر باید با میزان توان مفید بصورت کار مکانیکی و نیز کل تلفات در آرمیچر برابر باشد.

مقاومت راه‌انداز

اگر به یک آرمیچر موتوری که در حالت سکون قرار دارد، ولتاژ شبکه اعمال شود، در آن صورت در لحظه‌ای که آرمیچر به ولتاژ وصل می‌شود، میزان ولتاژ القاء شده $U_{ind} \sim n = O$ صفر می‌شود و در صورت اتصالْ مستقیم موتور به ولتاژ شبکه به علت عبور جریان زیاد از آرمیچر در هنگام راه‌اندازی، میزان شدت جریان مذکور می‌تواند از حد مجاز تجاوز کند به طوریکه حتی می‌تواند مقدار جریانی چندین برابر جریان نامی ماشین از آن عبور کند در حالی‌که طبق مقررات VDE 0650 بالاترین حد میزان جریان راه‌اندازی موتورها می‌تواند فقط بین 1,5Kw تا 100 Kw یعنی ۱/۵ برابر جریان نامی I_n باشد (جریان مجاز در حالت کار دائمی)

بالاترین حد جریان راه‌اندازی $\qquad I_s = 1,5 I_n << I_{kM}$

به‌منظور محدود کردن جریان راه‌اندازی، مقاومتی به نام «مقاومت سری» یا «مقاومت راه‌انداز» که آنرا «رئوستای راه‌انداز» نیز می‌نامند بطور سری به آرمیچر بسته می‌شود تا در صورت افزایش میزان سرعت آرمیچر و در نتیجه میزان ولتاژ القائی، مقاومت مذکور بتواند میزان جریان راه‌اندازی را تا حدودی کاهش دهد و به عبارتی میزان جریان را در حد پایین‌تری نگه دارد. موتورهائی که توان آنها زیر 1,6Kw باشد به رئوستای راه‌انداز احتیاجی ندارند بنابراین محاسبهٔ مقاومت راه‌انداز با توجه به بررسی زیر چنین بیان می‌شود : میزان ولتاژ موثر $U_G - U_{ind}$ برابر مجموع افت ولتاژها در آرمیچر و میزان مقاومت راه‌انداز است که به آن بطور سری بسته شده است. در صورتی که I_a جریان آرمیچر، R_{iM} مقاومت آرمیچر و R_{vor} مقاومت سری راه‌انداز باشد، می‌توان نوشت:

$$U_G - U_{ind} = I_a R_{iM} + I_a R_{vor}$$

و

$$R_{vor} = \frac{U_G - U_{ind} - I_a R_{iM}}{I_a}$$

چون در لحظهٔ راه‌اندازی $U_{ind} = o$ است و جریان مجاز آرمیچر برابر با بالاترین حد

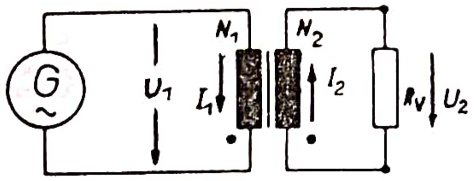
جریان راه‌اندازی I_s می‌باشد بنابراین مقاومت راه‌اندازی R_{vor} بصورت زیر بدست می‌آید.

$$R_{vor} = \frac{U_G - I_s R_{iM}}{I_s}$$

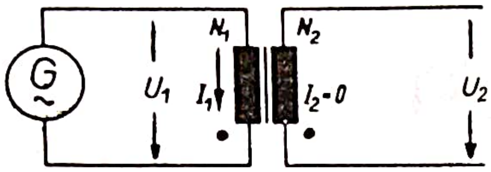
از آنجائیکه عمل راه‌اندازی یک موتور اکثراً در مدت کوتاهی انجام می‌شود بنابراین مقاومت راه‌انداز فقط برای مدت زمان کوتاهی وصل می‌شود که به همین جهت نیز اکثراً سیم‌پیچی مقاومت مذکور از سیم نسبتاً نازکی ساخته می‌شود. از آ نجائیکه سیم‌پیچی مقاومت راه‌انداز شدیداً داغ می‌شود، به‌خصوص اگر جریان نامی بطور دائم از آن عبور کند، بنابراین از مقاومت مذکور برای مدت زمان طولانی استفاده نمی‌گردد.

ترانسفورماتور تکفاز در حالت بی‌باری و بارداری

اگر مدار ثانویهٔ یک ترانسفورماتور مانند شکل ۱ باز باشد یعنی توسط مقاومت باردار نشود در آن صورت میدان متناوبی که توسط جریان اولیه در هستهٔ آهنی به‌وجود می‌آید با اینکه از آن هیچگونه جریانی عبور نمی‌کند، در سیم‌پیچ ثانویه ولتاژ القاء می‌کند. در این حالت میدان متناوب در سیم‌پیچ اولیه اندوکتانس خودی زیادی را تولید می‌کند و مقاومت القائی آن بسیار زیاد و میزان جریان مغناطیس‌شوندگی‌ای که از مدار اولیه عبور می‌کند بسیار کم می‌باشد و بدین ترتیب از سیم‌پیچ اولیه فقط آن مقدار جریان مغناطیس شوندگی‌ای که به منظور تولید شار مغناطیسی مورد لزوم است، عبور می‌کند اما در صورت تغییر جریان دائم جریان مغناطیس شوندگی آهن به علت هم جهت شدن مجدد مغناطیس‌های مولکولی کاری انجام می‌شود که قسمتی از آن به‌صورت گرما یا حرارت در آهن تلف می‌گردد. بنابراین، این جریانی را که تلفات هسته را ایجاد می‌کد، «جریان تلفات هسته» می‌نامند و مجموع جریان مغناطیس‌شوندگی با جریان تلفات هسته، «جریان بی‌باری» نامیده می‌شود.



شکل ۲ : ترانسفورماتور تکفاز در حالت بارداری



شکل ۱ : ترانسفورماتور تکفاز در حالت بی‌باری

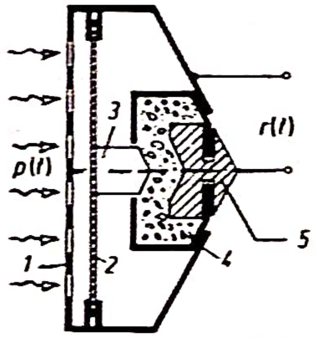
حال اگر سیم‌پیچ ثانویه مطابق شکل ۲ توسط مقاومت R_v باردار شود، در آن صورت از مدار ثانویه جریانی عبور می‌کند که با جریان مغناطیس‌شوندگی مخالفت می‌کند و در سیم‌پیچ ثانویه میدانی مغناطیسی تولید می‌کند که با میدان مغناطیسی جریان اولیه مخالفت می‌ورزد. بنابراین هرچه میزان جریان بار مدار ثانویه بیشتر شود به همان نسبت میزان شار مغناطیسی که توسط جریان مغناطیس‌شوندگی تولید می‌شود، ضعیفتر می‌گردد که البته نتیجتاً میزان مقاومت القائی سیم‌پیچ اولیه نیز تنزل پیدا می‌کند. از آنجائیکه میزان ولتاژ متناوبی که در سیم‌پیچ اولیه اعمال می‌شود ثابت است، بنابراین هرچه میزان مقاومت القائی آن کمتر شود، به همان نسبت سیم‌پیچ اولیه جریان بیشتری را طلب می‌کند. بنابراین میزان گرفتن جریان توسط سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتور متناسب با میزان جریان بار سیم‌پیچ ثانویه تغییر می‌کند.

فصل پنجم

اِلمانها

میکروفن

به‌منظور تبدیل امواج صوتی به سیگنالهای الکتریکی از وسیله‌ای به نام میکروفن استفاده می‌گردد که البته نوع قدیمی آنرا نیز همانطور که در شکل شمارهٔ ۱ نشان داده می‌شود، «میکروفن ذغالی» می‌نامند. فشار امواج صوتی $P(t)$ روی دیافراگمی که در شکل با شمارهٔ ۲ مشخص شده است، الکترود متحرکی را که در تصویر با شمارهٔ ۳ نشان داده می‌شود، حرکت می‌دهد. در نتیجه در فاصلهٔ بین الکترود متحرک شمارهٔ ۳ و الکترود شمارهٔ ۵ که ثابت قرار دارد، ذرات ذغالی که موجود است با تغییر پریودیک امواج صوتی به هم فشرده می‌گردند و در نتیجه مقاومت موجود در ذرات ذغال متناسب با فشار تغییر می‌کند و بدین ترتیب روی اتصالات میکروفن یک متغیر زمانی $r(t) = R_0 + 1_M(p)$ قابل اندازه‌گیری می‌شود بطوری که از مجموع مقاومت ساکن R_0 میکروفن و از آن قسمتی که توسط امواج صوتی کنترل می‌شود، تشکیل می‌گردد. حال اگر میکروفنی که در شکل ۲ نشان داده می‌شود با ولتاژ ثابت U_q کار کند در آن صورت مقاومت $r(t)$ باعث ایجاد تغییرات جریانی می‌شود که از طریق تراسنفورماتور Tr به بار مقاومتی R منتقل می‌گردد. به‌طور کلی میکروفنهای ذغالی به ویژه در صنعت تلفن کاربرد بیشتری دارند.



۱. روکش مشبک
۲. دیافراگم
۳. الکترود متحرک
۴. ذرات ذغال
۵. الکترود ثابت
$P(t)$ فشار امواج صوتی
$r(t)$ مقاومت میکروفن که توسط امواج صوتی کنترل می‌شود

شکل ۱ : تصویر شماتیک یک میکروفن ذغالی

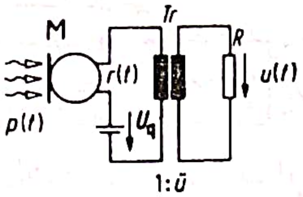
M میکروفن ذغالی

Tr ترانسفورماتور

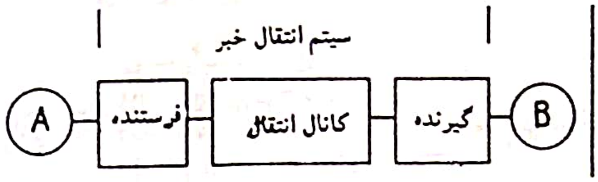
Ü نسبت تبدیل

R مقاومت بار

U_q منبع ولتاژ معادل

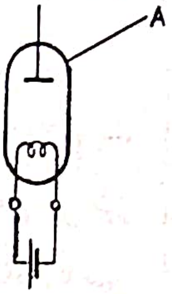


شکل ۲ : مدار



در شکل بالا تصویر شماتیک انتقال خبر نشان داده می‌شود. به‌منظور انتقال خبر به نقاط دیگر باید خبر بطور مثال از فرم امواج صوتی به صورت سیگنال الکتریکی تبدیل شود. از آنجائیکه سیگنال صوتی با فرکانس پایین از نظر الکتریکی خوب کار نمی‌کند، اگر بطور متناسب تغییر فرم پیدا کند، پس از تغییر فرم به صورت سیگنال الکتریکی در بیشتر موارد بطور زمانی نیز قابل تبدیل است. این تبدیل به آن معنا است که سیگنال الکتریکی با فرکانس پایین به سیگنال الکتریکی با فرکانس بالا تبدیل می‌گردد که البته این اصل به‌طور معکوس نیز صادق می‌باشد.	
اگر قرار شود به‌طور مثال خبرهای صوتی به نقاط دیگری انتقال داده شود در آن صورت باید آنها به تبدیل شوند. تغییر فرم خبرهای صوتی به سیگنالهای الکتریکی در تلفن به‌طور مثال در قسمت میکروفن انجام می‌شود. به‌همین علت نیز میکروفن را یک «مبدل» می‌نامند.	سیگنالهای الکتریکی
بنابراین یک مبدل می‌تواند به‌طور مثال خبرهای صوتی را به تبدیل کند که البته تبدیل معکوس سیگنالهای الکتریکی به خبرهای صوتی نیز توسط مبدل انجام می‌شود.	سیگنالهای الکتریکی

به‌منظور انتقال خبر به نقاط دیگر باید خبر در یک مبدل به سیگنالهای الکتریکی تبدیل شود. سیگنالهای الکتریکی در هنگام این انتقال که وابسته به میزان فرکانس و فاصله می‌باشند، میرا می‌شوند و تأثیر این میرائی نیز به‌علت مقاومت سیستم انتقالی می‌باشد که آنرا «کانال» نیز می‌نامند. بنابراین سیگنالهای الکتریکی در هنگام انتقال در میرا می‌شوند و به علت این مقاومت کانال انتقال که با سیگنالهای الکتریکی مخالفت می‌کند مقداری توان نیز از دست داده می‌شود. از آنجائی‌که میرائی سیگنالها باید دوباره متعادل شوند، در نتیجه باید اِلمان مناسبی در کانال یا گیرنده قرار گیرد.	کانال



۱

شکل بالا تصویر شماتیک یک لامپ الکترونی را نشان می‌دهد که از یک حباب شیشه‌ای (A) که در آن خلاء وجود دارد و همچنین حداقل دو الکترود تشکیل شده است با گرم شدن تدریجی یکی از الکترودها به وسیلهٔ جریان الکتریکی، انرژی جنبشی چند الکترون تا حدی افزایش می‌یابد که باعث جدا شدن آنها از سطح روی فلز می‌گردد به عبارتی فلز الکترون‌ها را بصورت تشعشع از خود ساتع می‌کند که در نتیجه در لامپ خلاء مذکور یک ابر بار فضائی در نزدیکی الکترود گرم شده تشکیل می‌گردد.

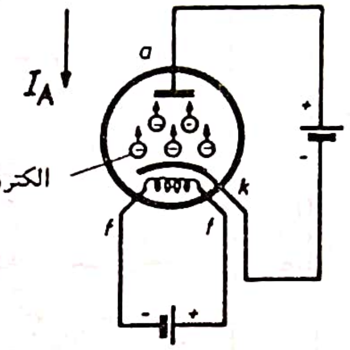
لامپ الکترونی

دراینجا تصویر شماتیک یک نشان داده می‌شود.
در این لامپ الکترونی، الکترود پائینی مستقیماً گرم می‌شود و در صورتی که الکترود این لامپ الکترونی، الکترونها را بصورت تشعشع از خود ساتع کند، در آن صورت در نزدیکی فضای الکترود گرم شده ابری از بارهای منفی به‌وجود می‌آید که آن را

ابربار فضائی

می‌نامند. الکترود یک لامپ‌الکترونی‌که الکترونها

را منتشر می‌کند، «کاتد» می‌نامند و الکترودی که در مقابل آن قرار دارد، «آند» نامیده می‌شود.

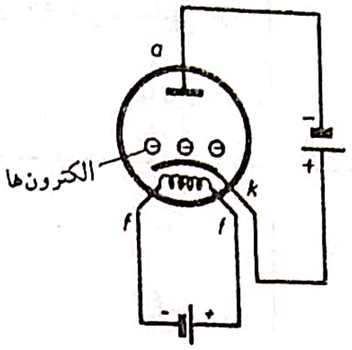


در اینجا تصویر یک به‌طورشماتیک نمایش داده می‌شود. این لامپ الکترونی دارای دو می‌باشد که الکترودها را «دیود» می‌نامند. کاتد این که به طور غیرمستقیم گرم می‌شود، الکترونها را به‌صورت تشعشع از خود ساتع کرده و در فضای خلاء موجود در حباب لامپ منتشر می‌سازد و به همین علت نیز در نزدیکی آن یک به‌وجود می‌آید. حال اگر روی آند این دیود، پلاریتهٔ مثبت و روی کاتد، پلاریتهٔ منفی ولتاژی را اعمال کنیم در آن صورت الکترونهائی که از کاتد ساتع می‌شوند به طرف آند حرکت می‌کنند که در نتیجه از آند جریانی عبور می‌کند که این جریان را «جریان آند I_A» می‌نامند.

لامپ الکترونی
الکترود
دیود
ابر بار فضائی

در مورد دیود جهت انتقال الکترونها در شکل بالا مشخص شده است به‌طوریکه طبق معمول جهت حرکت الکترونها برخلاف جهت جریان قرار دادی می‌باشد.

الکترونهائی که از کاتد آزادانه به سمت آند حرکت می‌کنند سبب ایجاد یک جریان کنوکسیونی می‌شود و این جریان کنوکسیونی نیز به علت ضربات و برخوردهای شدید الکترونها به آند، آند را گرم می‌کند.



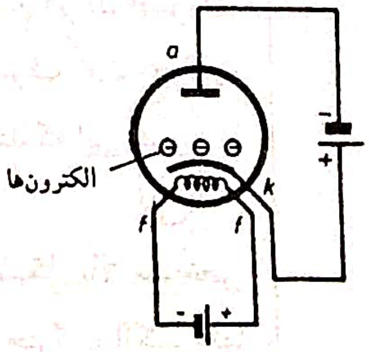
اگر روی آند پلاریتهٔ منفی و روی کاتد پلاریتهٔ مثبت ولتاژ اعمال شود، آیا یک جریان کنوکسیونی بر قرار می‌گردد؟ بله یا خیر؟ در این حالت به هیچ وجه نه جریان کنوکسیونی برقرار می‌شود و نه جریان آند.

خیر

بنابراین می‌توان گفت : مدار متصل به لامپ در اینحالت جریان را مسدود می‌کند.

بنابراین در هنگام مسدود شدن جریان به هیچ وجه عبور نمی‌کند.

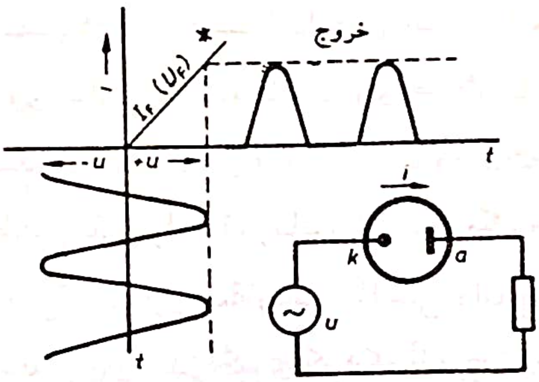
جریان آند

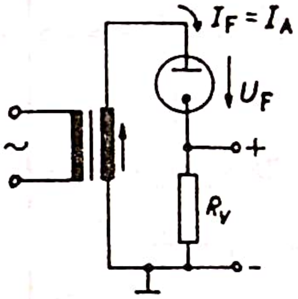


مدار این لامپ طوری بسته شده است که جریان را مسدود می‌کند. یک لامپ در صورتی جریان را مسدود می‌کند که پلاریتهٔ منفی بطور لحظه‌ای روی آند و پلاریتهٔ مثبت نیز بطور لحظه‌ای روی کاتد اعمال شود.

بنابراین در صورتی که پلاریته مثبت ولتاژ به آند اعمال شود،

الکترونهای منتشر شده از کاتد جذب آند می‌شوند و جریان الکترونها برقرار می‌گردد و در صورت منفی بودن پلاریتهٔ ولتاژاعمال شده به آند، جریان الکترونها قطع می‌شود.

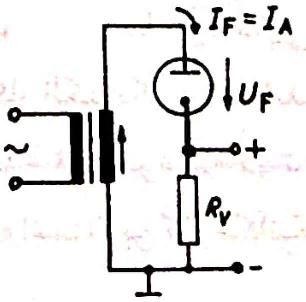


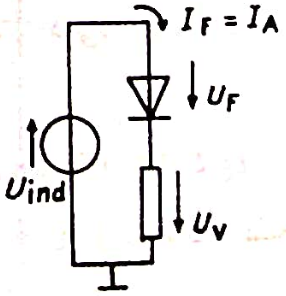


در شکل سمت راست دیاگرام مدار یک نشان داده می‌شود. به این مدار از طریق یک ترانسفورماتور سینوسی اعمال شده است. باتوجه به دیاگرام زمانی شکل سمت چپ می‌توا ن نتیجه‌گیری کرد که از مصرف‌کننده یک جریان مستقیم ضرباندار یا به‌عبارتی دیگر جریان پالس DC عبور می‌کند. بنابراین می‌توان گفت که در این دیود، ولتاژ متناوب سینوسی است و در این حالت نیم موج منفی حذف می‌شود. بنابراین خروجی فقط دارای نیم‌موج‌های می‌گردد که در نتیجه می‌توان از یک دیود به عنوان «یکسوساز» استفاده کرد زیرا در اینجا جریان متناوب به جریان مستقیم ضرباندار تبدیل شده است.

دیود
ولتاژ متناوب

یکسوشده
مثبت





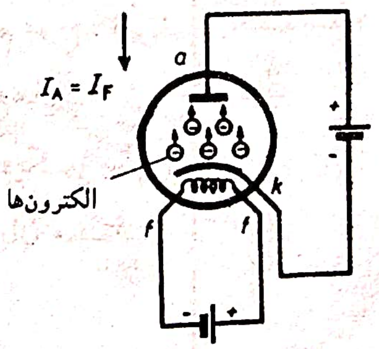
در سمت چپ، دیاگرام یک مدار و در سمت راست، دیاگرام مدار معادل یک مدار جریان که دارای مصرف‌کننده و دیود می‌باشد، نشان داده شده است.

در روی دیاگرام مدار معادل، دیود با علامت مشخصهٔ مداری‌اش (شکل سمبلیک دیود) نشان داده می‌شود اما نه در روی اِلمان و نه در روی علامت مشخصهٔ مداری، علامت گرما نشان داده نشده است.

مدار جریان از طریق یک ترانسفورماتور توسط یک منبع جریان متناوب کار می‌کند. روی مقاومت R_V می‌توان میزان ضربانداری را اندزه‌گیری کرد که با میزان جریان آند متناسب می‌باشد. — ولتاژ مستقیم

در اینجا دیود به عنوان یک .... عمل می‌کند. — یکسو ساز

به‌طور کلی .... دارای خصوصیاتی هستند که فقط به جریان در یک جهت اجازهٔ عبور می‌دهند و در جهت معکوس با آن مخالفت می‌ورزند. — یکسوسازها



در شکل بالا تصویر شماتیک یک .... نمایش داده‌می‌شود. — دیود

در اینجا کاتد گرم می‌شود و به علت کار الکتریکی وارد شده، بر نیروی اتصال n الکترون در فلز غلبه می‌شود که در نتیجه می‌توان گفت کار مکانیکی انجام شده است. این کار مکانیکی را

«کار خروجی» نیز می‌نامند زیرا خروج الکترونها را از فلز ممکن می‌سازد.

در نتیجه بنابر قانون کار معتبر است:

$W_{el} = W_{me}$

و بطور جداگانه صدق می‌کند:

$Wel = P_{el} \Delta t$ و $W_{me} = nF_s \Delta_s$

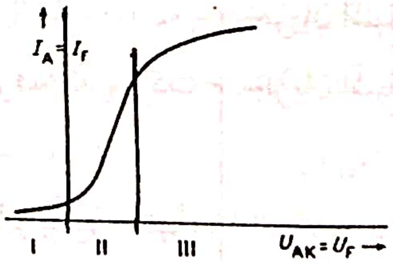
که در این رابطه F_s بطور مثال علامت نیرو را در جهت مسیر نشان می‌دهد.

کار خروجی

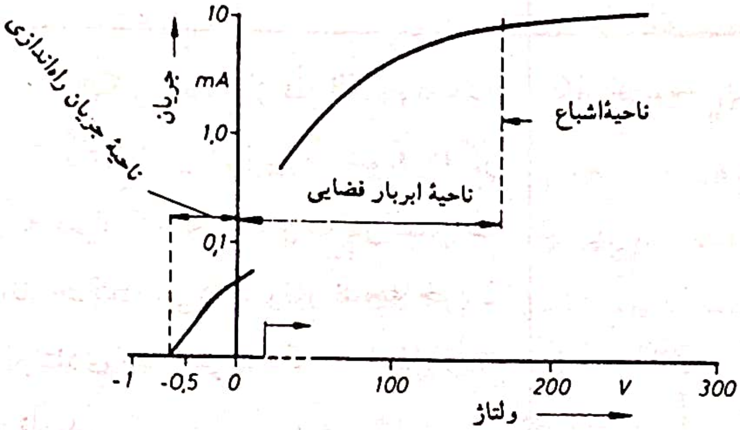
W_{me} در اینجا کار مکانیکی یا می‌باشد که باید مصرف شود تا n الکترون از فلز کاتد آزاد شود و به طور متوسط در مسافت Δ_s حرکت کنند.

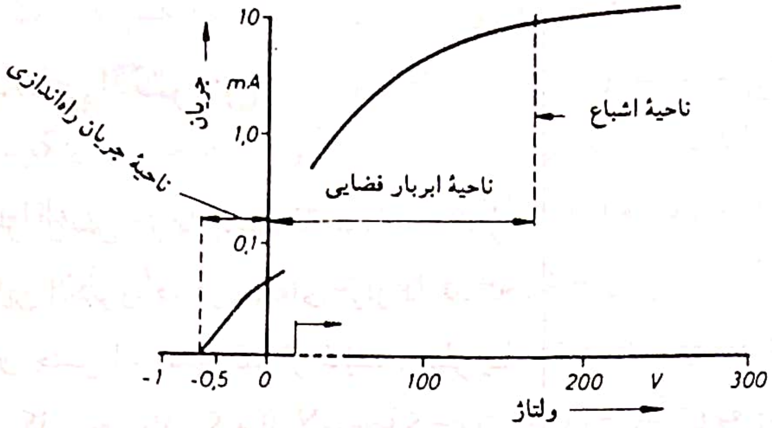
کار خروجی

بنابراین به علت الکترونهائی از فلز الکترود جدا می‌شوند و چند تا از آنها تا حدی دارای انرژی می‌شوند که در صورت اعمال ولتاژ منفی به میزان کم به آند و یا در صورت فقدان ولتاژ آند به طرف آند حرکت می‌کنند و در نتیجه جریان آند I_A (یا I_F) در جهت قرار دادی عبور می‌کند که در این حالت آنرا «جریان راه‌اندازی» می‌نامند.



در شکل بالا منحنی مشخصهٔ یک دیود نشان می‌دهد که در صورت اعمال ولتاژ منفی آند به میزان ناچیز در ناحیه I

برقرار می‌گردد. در اینجا چنین ناحیه‌ای را «ناحیهٔ جریان راه‌اندازی» می‌نامند و به خصوص اگر حتی روی آند هیچگونه ولتاژی نیز اعمال نشود، برقرار می‌شود که تأثیر آن به علت کار خروجی الکترونها می‌باشد. همچنین منحنی مشخصهٔ مذکور نشان می‌دهد که جریان آند تا حدی می‌تواند افزایش یابد و پس از مدتی قطع می‌شود به عبارتی دیگر در صورت افزایش ولتاژ مثبت آند، جریان آند نیز افزایش می‌یابد و در صورت رسیدن ولتاژ مثبت آند به حد بالا دیگر جریان آند افزایش نمی‌یابد (ناحیه III) که این جریان را روی منحنی «جریان اشباع» می‌نامند.	جریان راه‌اندازی جریان راه‌اندازی
 این منحنی مشخصه نشان می‌دهد که از حدود تقریباً ۱۸۰V برقرار می‌شود. در تمام الکترونهای منتشر شده به طرف آند حرکت می‌کنند. بنابراین ناحیه‌ای را که در آن میزان جریان آند با وجود ادامهٔ افزایش ولتاژ مثبت آند دیگر صعود نمی‌کند، «ناحیهٔ اشباع» می‌نامند.	جریان اشباع جریان اشباع



منحنی مشخصهٔ دیود در شکل بالا ناحیهٔ ، ناحیهٔ ابر بار فضائی را نشان می‌دهد. ناحیهٔ ابر بار فضائی بین و قرار دارد. در میزان ولتاژ مثبت آند در حد پایینی قرار دارد و تمام الکترونهای خارجی به آند نمی‌رسند.

از ابر الکترونی اطراف کاتد فقط به همان مقداری الکترون خارج می‌شود و به طرف آند جذب می‌گردد که از کاتد خارج شده و به طرف ابر بار فضائی وارد شده است که البته این میزان متناسب با میزان ولتاژ مثبت آند می‌باشد به‌طوری که هر چه میزان ولتاژ مثبت آند افزایش یابد به همان نسبت میزان خروج الکترونها نیز افزایش پیدا می‌کند.

به‌عبارتی دیگر از ابر الکترونی اطراف کاتد فقط به‌همان مقداری الکترون خارج می‌شود که از طرف آند متناسب با ولتاژ U_{AK} بین آند و کاتد جذب می‌گردد.

بنابر این در در صورت افزایش ولتاژ مثبت آند میزان جریان الکترونها افزایش می‌یابد.

ناحیه ابر بار فضائی در روی منحنی دیود «ناحیهٔ کار» نیز نامیده می‌شود.

اشباع
راه‌اندازی
ناحیهٔ راه‌اندازی -
ناحیهٔ اشباع -
ناحیهٔ ابر بار فضائی

ناحیهٔ ابر بارفضائی

لامپ‌های الکترونی

لامپ‌های الکترونی از آرایش دو یا چند الکترود تشکیل شده است به طوری که این الکترودها در بدنه‌ای قرار دارند که در آن خلاء وجود دارد و جنس این بدنه نیز از شیشه، فلز یا سرامیک می‌باشد. به‌طور کلی جریانی که از لامپ الکترونی عبور می‌کند مطابق با میزان ولتاژهای اعمال شده می‌تواند به هما ن نسبت روی الکترودها تأثیر بگذارد.

دیودها

به‌طور کلی ساده‌ترین فرم لامپ فقط دارای ۲ الکترود می‌باشد. از آنجائیکه یک فضای خلاء می‌تواند مانند یک ایزولاتور خوب عمل کند بنابراین اگر از این موضوع صرف نظر شود که در خلاء الکترونهائی وجود دارند که به طور آزادانه حرکت می‌کنند در آن صورت در هنگام اعمال ولتاژ بین هر دو الکترودها جریان عبور نمی‌کند در حالی‌که در هنگام گرم کردن فلز از سطح روئی آن الکترونهائی خارج می‌شوند به عبارتی اگر الکترود کاتد گرم شود در آن صورت الکترونهائی که بدین طریق از سطح روئی آن خارج شده‌اند می‌توانند توسط الکترود دوم (آند) جذب شوند که البته این در صورتی است که به الکترود دوم ولتاژ مثبت اعمال شده باشد. در نتیجه از آند جریانی عبور می‌کند که آنرا جریان آند می‌نامند. همانطور که در شکل شمارهٔ یک دیده می‌شود الکترود گرم شده، کاتد K می‌باشد که در مقابل آن الکترود آند (A) قرار دارد.

به‌منظور خروج الکترونها متناسب با نوع مادهٔ به کار رفته در

کاتد به میزان کار خروجی زیادی (برحسب الکترون ولت) احتیاج می‌باشد و در صورتی که بخواهیم به میزان بالائی دست یابیم باید کاتد تا جائی‌که امکان دارد، گرم شود چرا که اینگونه مواد دارای نقطهٔ ذوب بالائی هستند به طور مثال تنگستن دارای نقطهٔ ذوبی در حدود 3643K و کار خروجی 4,5eV است. (الکترون ولت = eV).

در مورد کار خروجی معتبر است:

$$Wel = ne_o U_T$$

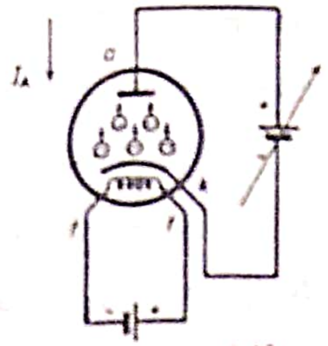
با گرم شدن کاتد، انرژی جنبشی الکترونها تا حدی افزایش می‌یابد که باعث جدا شدن آنها از سطح روی فلز می‌گردد به‌طوری‌که چند الکترون تا حدی دارای انرژی جنبشی می‌شوند که حتی در مقابل ولتاژ آند منفی به میزان ناچیز می‌توانند به آند برسند. در این رابطه جریانی را که به این کار خروجی الکترونها بستگی دارد در هنگام اعمال ولتاژ آند منفی به میزان کم یا در صورت فقدان اعمال ولتاژ به آند، می‌نامند که در شکل ۲ نشان داده می‌شود.

جریان راه‌اندازی

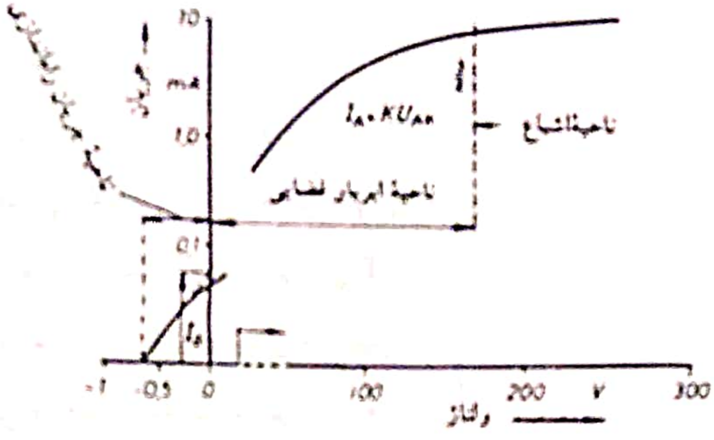
در این ناحیه جریان از قانون راه‌اندازی پیروی می‌کند که به صورت رابطهٔ زیر بیان می‌گردد.

$$I_A = I_\circ e^{\frac{U_{AK}}{U_T}}$$

$I_\circ$ در شکل ۲ نشان داده می‌شود، U_{AK} ولتاژ آند و U_T برابر با $\frac{kT}{e_\circ}$ است. همچنین $\frac{k}{e_\circ} \approx 86{,}17 \frac{\mu V}{K}$ و T درجهٔ حرارت مطلق برحسب درجهٔ کلوین و k علامت ثابت بولتزمن است که برابر با $13{,}862.10^{-24}$Ws/K می‌باشد.



شکل ۱

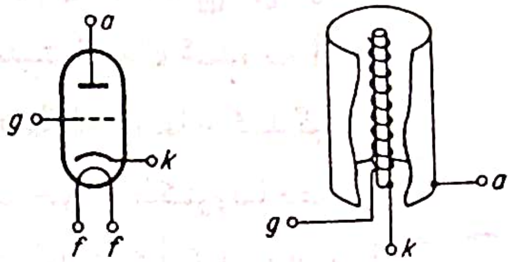


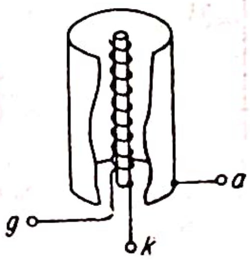
شکل ۲: منحنی مشخصهٔ دیود لامپی

حال اگر میزان ولتاژ مثبت آند را افزایش دهیم، جریان آند نیز افزایش می‌یابد به‌طوری که در صورت ادامهٔ افزایش میزان ولتاژ مثبت آند، میزان جریان آند نیز تا زمانی افزایش می‌یابد که تمام الکترونهای خارج شده از کاتد جذب آند شوند اما در صورت ادامهٔ افزایش بیشتر افزایش ولتاژ مثبت اعمال شده به آند، جریان دیگر افزایش نمی‌یابد و به حد اشباع می‌رسد. البته در این ناحیه اشباع، جریان هنوز به درجهٔ حرارت کاتد بستگی دارد. بین ناحیهٔ اشباع و ناحیهٔ جریان راه‌اندازی، ناحیهٔ کار لامپ الکترونی قرار دارد که در واقع همان ناحیهٔ ابر بار فضائی می‌باشد که در شکل ۲ نشان داده می‌شود. در ناحیهٔ ابر بار فضائی میزان ولتاژ آند آنقدر پایین است که تمام الکترونها را بطرف خود جذب می‌کند و در نتیجه این خروج الکترونها از کاتد باعث

می‌شود که در نزدیکی کاتد یک فضائی از بارهای منفی به‌وجود بیاید به عبارتی دیگر باعث ایجاد ابر الکترونی در نزدیکی کاتد گردد به طوری که به‌همان اندازه الکترون از کاتد خارج می‌شود که توسط آند متناسب با میزان ولتاژ مثبت اعمال شده به آن جذب می‌شود. از آنجائی‌که در دیود فقط الکترونها از کاتد گرم شده خارج می‌شوند، به همین علت جریان الکترونها فقط می‌تواند از کاتد به طرف الکترود مثبت آند حرکت کند که البته در صورت اعمال ولتاژ منفی به آند، جریان الکترونها نیز قطع می‌گردد. به همین علت نیز از دیود به منظور جریان متناوب به‌جریان مستقیم ضربان‌دار استفاده می‌شود.	یکسوسازی

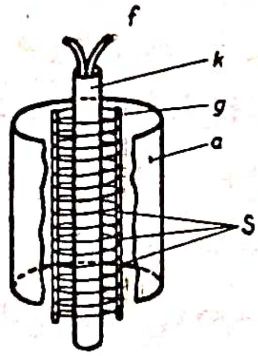
اگر در یک لامپ الکترونی بین آند و کاتد الکترود دیگری قرار گیرد در آن صورت لامپ مذکور را «لامپ تریود» می‌نامند:





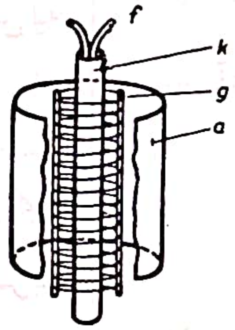
تریود

در اینجا تصویر شماتیک یک لامپ تریود نشان داده می‌شود که دارای سه الکترود می‌باشد. در اینجا همانطورکه در تصویر دیده می‌شود، a علامت آند لامپ تریود، K علامت کاتد و g علامت الکترود سومی است که آنرا «گرید» یا «شبکه» می‌نامند.

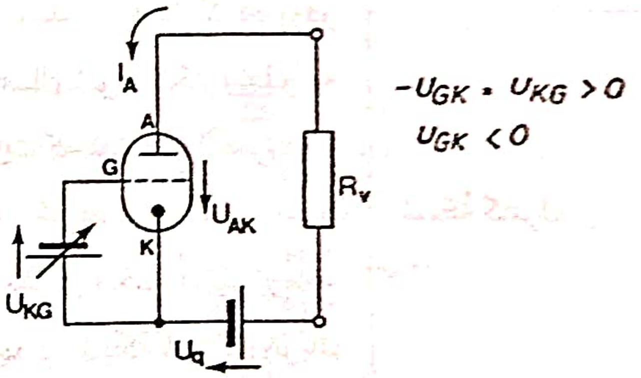


تریود

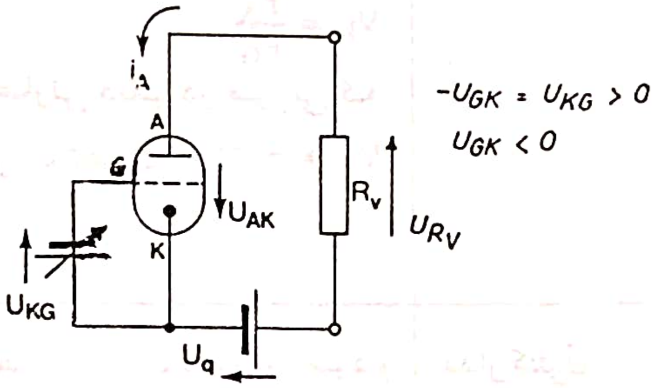
در شکل بالا تصویری شماتیک از ساختمان یک لامپ تریود

نشان داده می‌شود. در اینجا لامپ تریـود با عـلامت g مشـخص شده است و الکترونها می‌توانند از میان شکافهای شبکهٔ سیمی، S که گرید را تشکیل می‌دهند، عبور کنند و به آند برسند. از آنجائی‌که هر دو پلاریته‌ها یعنی پلاریتهٔ منفی یا پلاریتهٔ مثبت ولتاژ اعمال شده به شبکه شدیداً روی جریان آند تأثیر می‌گذارد، به همین جهت نیز این شبکه را «شبکهٔ کنترل» می‌نامند.	شبکه
 الکترودهای یک لامپ تریود از کاتد، آند و تشکیل می‌شود. حال اگر روی شبکهٔ کنترل پلاریتهٔ مثبت ولتاژ اعمال شود در آن صورت بین شبکهٔ کنترل و کاتد ولتاژ مـثبتی ایجاد می‌شود که آنرا «ولتاژ گرید» می‌نامند و با عـلامت U_{GA} نشان می‌دهند به‌عبارتی شبکهٔ کنترل مانند آند عمل کرده و در صورتی که پلاریتهٔ مثبت ولتاژ به آن اعمال شود، الکترونها را به سمت خود جذب می‌کند. بدین صورت که تعدادی الکترون از میان به‌طرف آند جذب می‌شوند و در نتیجه جریان آند نیز افزایش می‌یابد و البته تعداد دیگری الکترون نیز توسط شبکهٔ کنترل جذب می‌گردد که در نتیجه در شبکهٔ کنترل «جریان گرید» به‌وجود می‌آید.	شبکه کنترل شبکهٔ کنترل

بنابراین در صورت مثبت بودن پلاریتهٔ ولتاژ گرید در شبکهٔ کنترل یک .... به وجود می‌آید اما در صورت اعمال ولتاژ منفی به‌طور ضعیف به شبکه، الکترونها به کندی به طرف آند حرکت می‌کنند که در نتیجه جریان آند نیز ضعیف می‌گردد و در این حالت شبکهٔ کنترل نیز هیچگونه الکترونی را به طرف خود جذب نمی‌کند. بدان معنا که به‌هیچ وجه .... برقرار نمی‌گردد.	جریان گرید جریان گرید
پس نتیجه‌گیری می‌شود که در صورت اعمال ولتاژ منفی به گرید حرکت الکترونها به طرف آند کُند می‌شود و .... نیز ضعیف می‌شود و هرچه از میزان ولتاژ منفی به گرید کاسته شود به همان نسبت نیز جریان آند افزایش می‌یابد. به‌عبارتی دیگر می‌توان نتیجه‌گیری کرد که جریان آند توسط شبکه یا گرید کنترل می‌شود. اما در صورت اعمال ولتاژ منفی به میزان زیاد به گرید سرانجام جریان آند قطع می‌شود. در اکثر موارد لامپهای الکترونی با ولتاژ منفی گرید UGK کار می‌کنند.	جریان آند



در شکل بالا دیاگرام یک لامپ تریود، تصویر مدار آند و

	همچنین تصویر مداری را نشان می‌دهد که به شبکه بسته شده است. در اینجا به علت تغییر ولتاژ گرید، مدار آند کنترل می‌شود که به همین علت نیز مدار جریانی را که توسط آن عمل کنترل انجام می‌شود، مدار کنترل می‌نامند.
	
تریود مدار آند	در دیاگرام یک لامپ در شکل بالا، تصویر مدار کنترل با شبکهٔ کنترل و مدار آند نشان داده می‌شود. در اینجا توسط مدار کنترل، کنترل می‌شود. حال اگر روی تریود، ولتاژ گرید U_{GK} که دارای پلاریتهٔ منفی است، اعمال شود، در آن صورت مدار آند بدون توان قابل کنترل است.
	میزان توان در مدار کنترل شده (مدار آند) در حقیقت بیشتر از میزان توان در مدار کنترل است. در صورتی که توان تلف شدهٔ لامپ $P_{\dagger} = U_{AK}I_A$ و توان مفید مصرف‌کننده $P_{RV} = U_{RV}I_A$ باشد در آن صورت در مورد توان P_A در مدار آند صدق می‌کند: $P_A = P_{\dagger} + P_{RV}$

توان تلف شده ـ توان مفید	در بنابراین توان P_A در مدار آند برابر با مجموع لامپ $P_{ـهـ}$ و در مصرف‌کنندهٔ P_{RV} می‌شود.
ضریب تقویت‌توان	نسبت توان P_A در مدار آند به توان P_G در مدار کنترل برابر با ضریب تقویت توان V_P لامپ تریود می‌باشد. بنابراین در مورد معتبر است : $V_P = \frac{P_A}{P_G}$ در حالت کنترل بدون توان به عبارتی دیگر در صورتی که $P_G \to O$ برود، در آن صورت ضریب تقویت توان $V_P \to \infty$ می‌رود.
مدار کنترل ضریب تقویت ضریب تقویت	مدار آند یک لامپ تریود توسط ،کنترل می‌شود و این بدان معنا است که میزان ولتاژ آند به میزان ولتاژ شبکهٔ کنترل بستگی دارد. از آنجائی‌که خارج قسمت تغییر زمانی ولتاژ آند U_{AK} به ولتاژ شبکهٔ کنترل $U_{GA} = - U_{KG}$ برابر با ضریب تقویت V_U می‌شود بنابراین در صورتی که I_A ثابت باشد، در مورد V_U صدق می‌کند: $V_U = - \frac{\Delta U_{AK}}{\Delta U_{GK}}$ ضریب تقویت V_U در صورت ثابت بودن I_A بیان‌کنندهٔ تغییرات ولتاژ آند به ولتاژ شبکهٔ کنترل در لامپ الکترونی می‌باشد و به عبارتی همچنین V_U در واقع تقویت ولتاژ در یک لامپ الکترونی را نشان می‌دهد. ضریب تقویت ولتاژ وابسته به بار می‌باشد به‌طوری‌که میزان آن در حالت بی‌باری و یا به عبارتی در حالتی که $R_V \to \infty$

می‌رود به حد ماکزیمم می‌رسد.	

لامپ‌های الکترونی

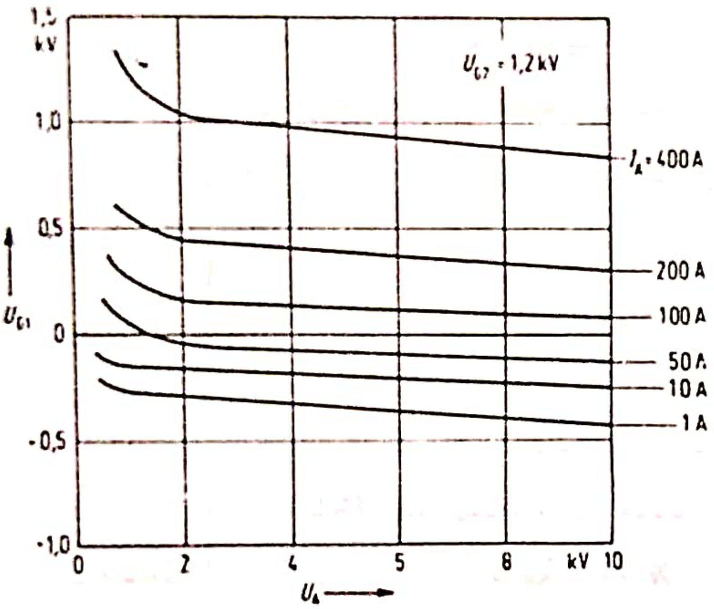
یک لامپ الکترونی خلاء از بدنه‌ای از جنس شیشه یا فلز تشکیل شده که در داخل آن بطور کامل خلاء وجود دارد. همچنین در درون لامپ خلاء الکترودی بنام کاتد قرار دارد که از جنس تنگستن است و در صورت گرم شدن، الکترونها را منتشر می‌سازد. این الکترونهای گرم شده نیز توسط الکترود دیگری که آند نام دارد، با پتانسیل بالائی جذب می‌شوند. جریان الکترونی که بین آند و کاتد بر قرار شده است، توسط یک یا چند شبکه کنترل می‌گردد که البته برحسب تعداد این شبکه‌ها در صورتی که لامپ الکترونی دارای یک شبکه باشد، لامپ تریود و در صورتی که دارای دو شبکه باشد، لامپ تترود نامیده می‌شود.

میزان توانی که به‌منظور کنترل مورد لزوم می‌باشد کمتر از میزان توان در مدار آند است که در نتیجه سبب تقویت لامپ می‌گردد. میزان توانی که در لامپ به‌صورت گرما تلف می‌شود بیشتر از همه آند را گرم می‌کند که به‌همین علت نیز باید آند سرد شود و در صورت زیاد بودن میزان تلفات توان، استفاده از سردکنندگی آب اجتناب ناپذیر است. در تصویر شماتیک شکل یک، سمبل مدار و میدان منحنی مشخصهٔ یک لامپ تترود نشان داده می‌شود. کنترل اصلی روی شبکهٔ G_1 انجام می‌شود که آنرا «شبکهٔ کنترل» می‌نامند و شبکهٔ G_2 که بین شبکهٔ کنترل و آند قرار گرفته است، «شبکهٔ پرده» نامیده می‌شود که می‌تواند دارای پتانسیل مثبت و ثابتی باشد. البته میزان پتانسیل مثبت شبکهٔ پرده باید از میزان پتانسیل مثبت شبکهٔ کنترل بیشتر باشد.

حال اگر میزان پتانسیل مثبت شبکهٔ کنترل در سطح پایین‌تر از میزان پتانسیل مثبت شبکهٔ پرده نسبت به کاتد قرار بگیرد در آن صورت شبکهٔ کنترل جریان طلب نمی‌کند و میزان توانی که به‌منظور کنترل مورد لزوم می‌باشد به سمت صفر میل می‌کند.

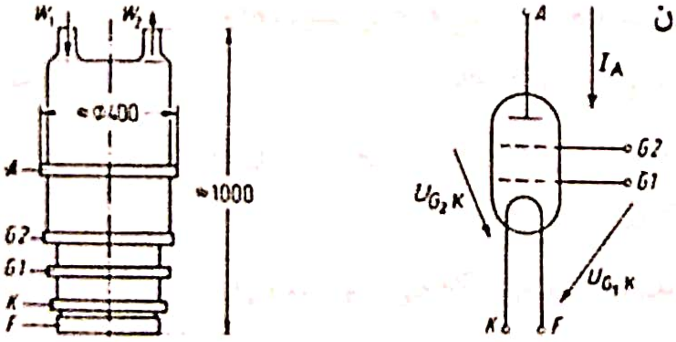
درگذشته لامپ الکترونی یک اِلمان تقویت‌کنندهٔ مهمی بود که در صنعت خبررسانی از آن استفاده می‌شد در حالی که امروزه فقط در تقویت‌کننده‌هائی با توان بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد.

c)



شکل ۱ : a تصویر، b سمبل و c میدان منحنی مشخصهٔ لامپ ترود

a) b)



K , F کاتد قابل گرم شدن

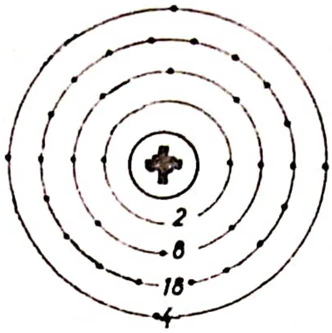
G_1 شبکهٔ کنترل

G_2 شبکهٔ پرده

A آند

W_1 ورود جریان آب

W_2 خروج جریان آب U_{AK} ولتاژ آند (بین A و K) U_{G1K} ولتاژ شبکهٔ کنترل (بین G_1 و K) U_{G2K} ولتاژ شبکهٔ پرده (بین G_2 و K) I_A جریان آند (جهت جریان از A به‌طرف K)	



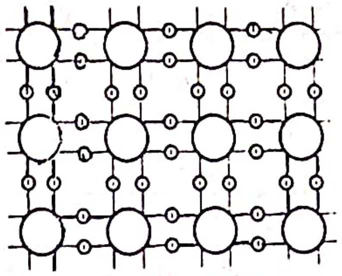
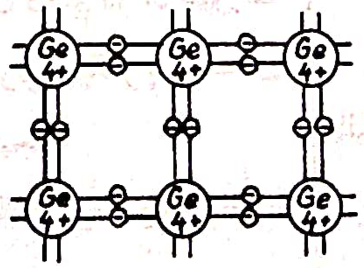
در شکل بالا مدل ساختمانی مداری یک اتم ژرمانیوم که اتمی چهار ظرفیتی می‌باشد، نمایش داده می‌شود.

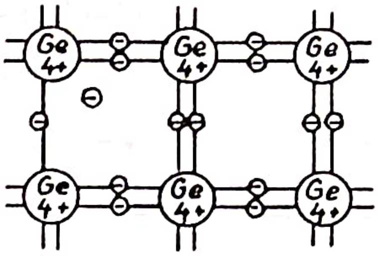
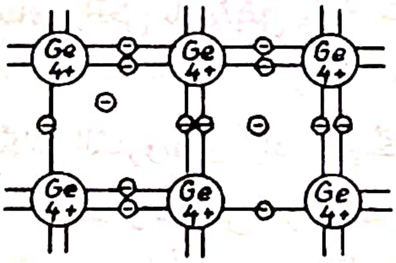
یک اتم ژرمانیوم دارای چهار الکترون والانس در لایهٔ مدار خارجی خود می‌باشد که می‌تواند این چهار الکترون ظرفیتی خود را با الکترونهای ظرفیتی اتم‌های ژرمانیوم مجاور خود به اشتراک بگذارد و در نتیجه اشتراک این الکترونهای ظرفیتی باعث ایجاد یک شبکهٔ اتمی منظم می‌شود که در این حالت اتم‌های ژرمانیوم در OK دارای هیچگونه الکترون آزادی نمی‌باشد.

ژرمانیوم دارای ساختمان مولکولی منظمی می‌باشد و از آنجائیکه در صفر درجه کلوین OK هیچگونه الکترون آزاد در آن وجود ندارد به همین علت نیز دارای قابلیت هدایت الکتریکی نیست.

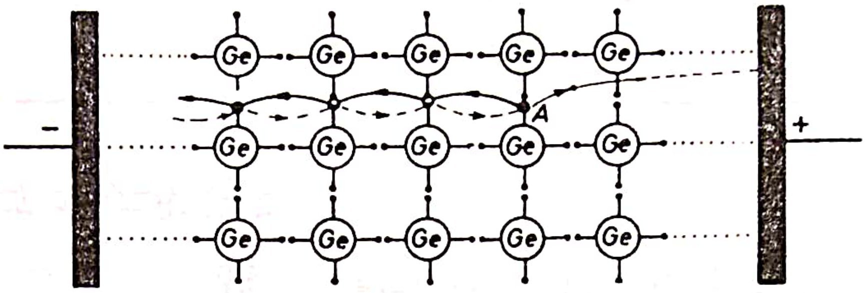
حال اگر بطور مثال ژرمانیوم را حرارت دهیم در آن صورت اتصال بین جفت الکترونها و یا به عبارتی دیگر پیوندهای اتصالی بین اتم‌ها شکسته می‌شود و در نتیجه الکترون‌هائی آزاد تشکیل می‌گردند که در نتیجه در این حالت ژرمانیوم می‌تواند جریان الکتریسیته را هدایت کند.

بنابراین مواد کریستالی ماند اتم ژرمانیوم که در صورت ورود

نیمه هادی	انرژی به میزان کافی می‌توانند جریان الکتریکی را در یک جهت عبور دهند نامیده می‌شوند.
	 در شکل بالا شبکهٔ سیلیکان بصورت ساده نمایش داده می‌شود. در اینجا شبکهٔ سیلیکان که از طریق به اشتراک گذاردن الکترونهای والانس یا ظرفیتی اتم‌های سیلیکان به‌وجود آمده است در این حالت هادی الکتریسیته نمی‌باشد در حالیکه در صورت ورود حرارت به میزان کافی شکسته می‌شود و بدین ترتیب با شکسته شدن پیوندهای اتصالی بین اتم‌ها در کریستال‌های سیلیکان، الکترونهائی آزاد می‌شوند و در نتیجه در این حالت سلیکان به عنوان یک هادی عمل کرده و میتواند جریان الکتریکی را در یک جهت عبور دهد که به همین علت سیلیکان را به‌عنوان یک نیز محسوب می‌کنند.
اتصال بین جفت الکترونها نیمه‌هادی	
	 شکل بالا تصویر یک شبکهٔ ژرمانیوم را نشان می‌دهد.

ژرمانیوم یک می‌باشد زیرا در صورت ورود انرژی حرارتی به میزان کافی در شبکه، الکترونهائی آزاد می‌شوند که این عمل خود باعث ایجاد فضاهائی خالی در اتم‌های سیلیکان می‌گردد. بدین ترتیب فضائی که در آنجا فقدان الکترون وجود دارد، «حفره» نامیده می‌شود.	نیمه‌هادی
 در شبکهٔ ژرمانیوم به علت ورود انرژی حرارتی یک تشکیل شده است. یک مانند یک بار مثبت عمل می‌کند زیرا فاقد الکترون می‌باشد و به همین علت می‌تواند توسط یک الکترون پُر شود.	حفره حفره
 در این شبکهٔ ژرمانیوم دو و دو الکترون آزاد وجود دارد. به‌طور کلی حفره‌ها و الکترونهای آزادی که در نیمه‌هادی در صورت ورود انرژی حرارتی به میزان کافی تشکیل می‌شوند، به‌صورت جفت می‌باشند که در نتیجه به علت همین تولید	حفره

بارهای حامل به‌صورت جفت است که یک نیمه‌هادی قادر به هدایت جریان می‌شود.	
قابلیت هدایت الکتریکی نیمه‌هادی به علت تولید حفره‌ها و الکترونهائی که «حامل» نیز نامیده می‌شوند، به‌وجود می‌آید که میزان این حامل‌ها نیز با میزان افزایش انرژی متناسب بوده و البته فقط تا یک حد معینی افزایش می‌یابد زیرا مرتباً الکترونها وارد حفره‌ها می‌شوند و به‌عبارتی دیگر با حفره‌ها ترکیب می‌گردند.	
بارهای حامل در نیمه‌هادی‌های خالص همیشه به‌صورت جفت به‌وجود می‌آیند و به همین علت نیز چگالی الکترونهای آزاد برابر با چگالی حفره‌ها می‌باشند. بنابراین چگالی‌ای که در نتیجهٔ حرکت بارهای حامل در اثر اعمال گرما به‌وجود می‌آید، چگالی قابلیت هدایت الکتریکی n_i نامیده می‌شود که برحسب واحد حجم cm^3 اندازه‌گیری می‌شود (i مخفف intrinsic است که به‌معنای واقعی یا حقیقی می‌باشد). بنابراین n_i با چگالی الکترونهای آزاد و یا با چگالی حفره‌ها برابر است و به‌میزان حرارت وابستگی دارد. چگالی قابلیت هدایت الکتریکی n_i در مورد نیمه‌هادی ژرمانیوم برابر است با $10^{12}cm^{-3}$. 300K24.	چگالی قابلیت هدایت الکتریکی



اگر روی یک نیمه‌هادی ولتاژ اعمال شود در آن صورت الکترونهای آزاد برخلاف جهت حرکت میدان به‌طرف
تغییر جهت می‌دهد در حالی که جهت حرکت
حفره‌ها در جهت   است و با جهت میدان منطبق می‌باشد. پس می‌توان نتیجه‌گیری کرد که بارهای حامل مثبت برخلاف جهت بارهای حامل منفی حرکت می‌کنند.

قطب مثبت

قطب منفی

جریان الکترونی که دارای قابلیت تحرک می‌باشد با علامت b_n و قابلیت تحرک حفره‌ها را نیز می‌توان با علامت b_p مشخص کرد.

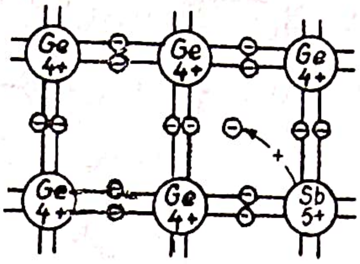
چون سرعت $\vec{V}$ بار حامل با حاصلضرب قابلیت تحرک b و اندازهٔ میدان الکتریکی $\vec{E}$ برابر است، بنابراین رابطهٔ زیر بدین صورت صدق می‌کند:

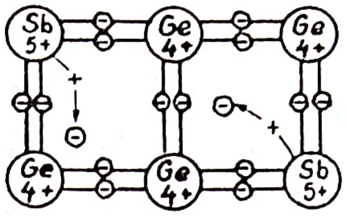
$$\vec{V} = b \cdot \vec{E}$$

از آنجائی‌که الکترونهای آزاد برخلاف جهت میدان $\vec{E}$ حرکت می‌کنند بنابراین $b_n < 0$ می‌شود و چون جهت حفره‌ها در جهت حرکت میدان است در نتیجه $b_p > 0$ می‌شود. در مورد میزان این قابلیت تحرک معتبر است:

$$|b_n| > |b_p|$$

که در این صورت می‌توان نتیجه‌گیری کرد که میزان قابلیت

الکترونها ـ حفره‌ها	تحرک در نیمه‌هادی‌ها بیشتر از قابلیت تحرک می‌باشد.
	
خیر	آیا شکل بالا تصویر شبکهٔ اتمی ژرمانیوم خالص را نشان می‌دهد؟ بله یا خیر؟
شبکهٔ اتمی الکترون ظرفیتی	در این یک اتم آنتی‌موآن (sb) داخل شده است. اتم آنتیموآن دارای ۵ الکترون ظرفیتی در لایهٔ مدار خارجی خود می‌باشد که چهار الکترون والانس خود را با چهار الکترون والانس اتم ژرمانیوم به اشتراک می‌گذارد و در نتیجه یک اتم آنتیموآن به طور آزاد باقی می‌ماند اگر این الکترون ظرفیتی از اتم آنتیموآن جدا شود، بصورت یک الکترون آزاد در خواهد آمد. به‌طور کلی موادی که در شبکهٔ نیمه‌هادی به اتم‌های دیگری با والانس پایین‌تر الکترون می‌دهند، «اتم‌دهنده» نامیده می‌شوند. به‌طور مثال آنتیموآن جزو آن دسته از مواد است که به‌عنوان یک ناخالصی‌ای که دارای ۵ الکترون والانس می‌باشد با افزوده شدن به نیمه‌هادی خالص ژرمانیوم سبب افزایش الکترونهای آزاد می‌شود.

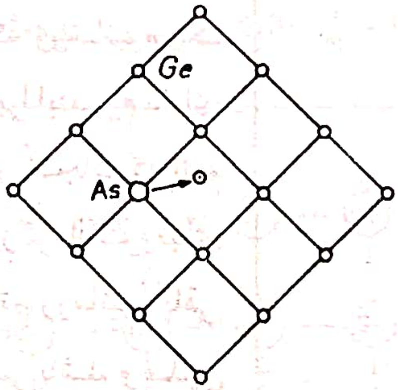


در این شبکهٔ اتمی ژرمانیوم، اتم‌های آنتیموآن وارد شده است.

اتم آنتیموآن در کریستال ژرمانیوم به‌عنوان یک .... عمل می‌کند زیرا اتم آنتیموآن به‌عنوان عنصری که دارای ۵ الکترون والانس می‌باشد، چهار الکترون ظرفیتی خود را با چهار الکترون ظرفیتی اتم مجاورش به اشتراک می‌گذارد.

اتم دهنده

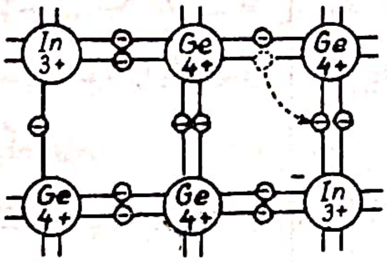
از آنجائی‌که ژرمانیوم در این حالت دارای ازدیاد بارهای منفی متحرک است، به‌همین علت نیز یک مادهٔ «نیمه هادی از نوع N» نامیده می‌شود که آنرا کریستال منفی نیز می‌نامند.

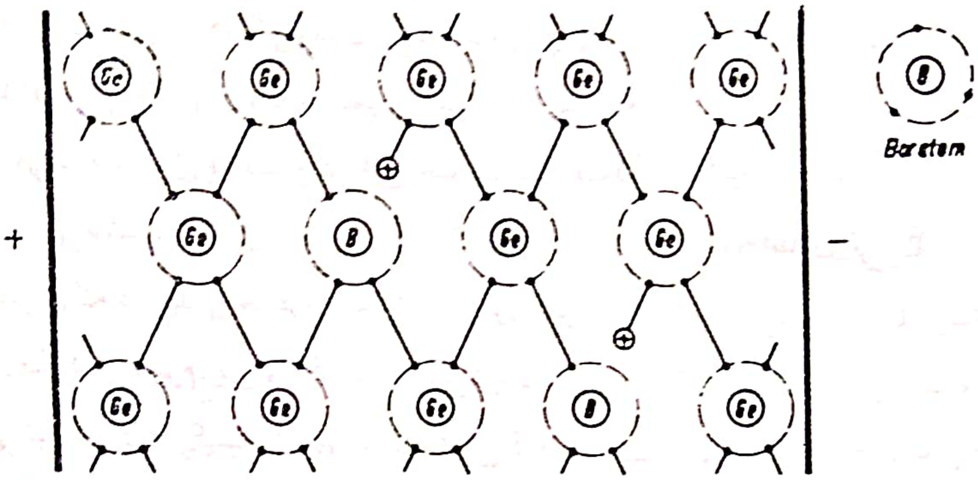


در شبکهٔ ژرمانیومی که در شکل بالا نشان داده می‌شود، یک اتم آرسنیک وارد شده است که در مدار خارجی خود دارای ۵ الکترون والانس است.

آرسینک در این حالت یک .... می‌باشد. به‌عبارتی

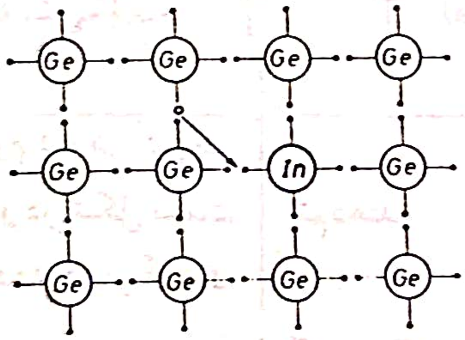
اتم دهنده

کریستال ژرمانیوم در این حالت یک کریستال است زیرا شبکهٔ آن به علت ورود اتم آرسنیک دارای ازدیاد بارهای منفی متحرک و یا به عبارتی دیگر الکترونهای آزاد می‌شود. بنابراین در صورتی‌که به کریستال ژرمانیوم اتم‌های خارجی که دارا ی۵ الکترون والانس در لایهٔ مدار خارجی خود هستند، داخل شوند، یک کریستال به‌وجود می‌آید.	نیمه‌هادی از نوع N نیمه‌هادی از نوع N
 آیا دراینجا کریستال ژرمانیوم یک کریستال نیمه هادی از نوع N است؟ بله یا خیر؟ در صورت ورود اتم ایندیوم (I_n) در شبکهٔ ژرمانیوم یک کریستال نیمه هادی از نوع N نمی‌تواند باشد زیرا ایندیوم دارای ۳ الکترون در مدار والانس خود می‌باشد و از آنجائی‌که اتم ایندیوم فقط می‌تواند با سه اتم ژرمانیوم مجاورش الکترونهای خود را به اشتراک بگذارد، در نتیجه هنوز یک اتم ژرمانیوم باقی می‌ماند که دارای فقدان الکترون مورد لزوم می‌باشد و بدین ترتیب مکانی که در آن فقدان الکترون وجود دارد، تشکیل حفره را می‌دهد. پس ورود یک ناخالصی مانند ایندیوم در کریستال نیمه‌هادی ژرمانیوم باعث افزایش تعداد حفره‌ها می‌گردد که در نتیجه کریستال ژرمانیوم در این حالت یک کریستال نیمه هادی از نوع P نامیده می‌شود.	خیر



نیمه‌هادی نوع P

درشبکهٔ ژرمانیوم در شکل بالا اتم‌های بُر Borوارد شده است. اتم باریم دارای سه الکترون والانس در مدار خارجی خود می‌باشد. در این حالت ژرمانیوم یک نامیده می‌شود زیرا در شبکه‌اش ازدیاد حامل‌های متحرک مثبت و یا به عبارتی دیگر حفره وجود دارد که به همین علت نیز در این حالت بُر Bor یک «اتم پذیرنده» محسوب می‌گردد.



در شکل بالا تصویر یک شبکهٔ ژرمانیوم که در آن ایندیوم وارد شده است، نشان داده می‌شود.

سه | ایندیوم دارای الکترون والانس در مدار خارجی خود

می‌باشد.

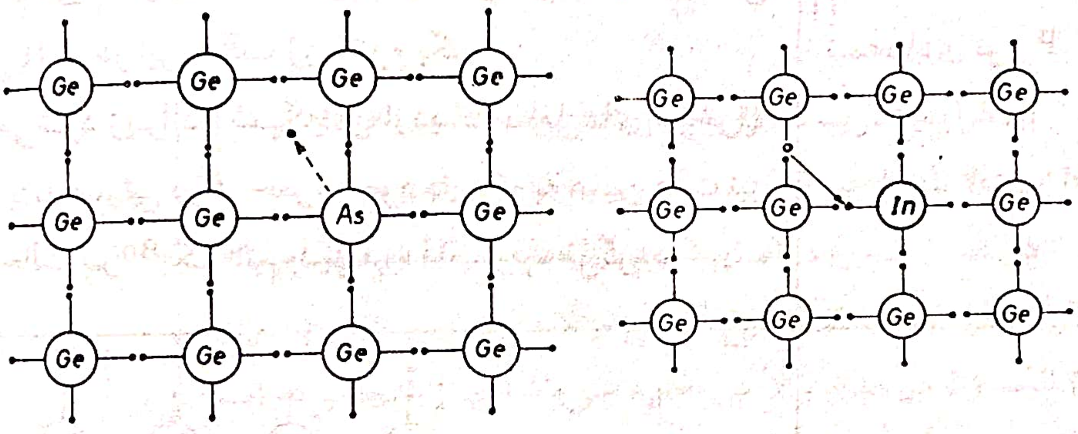
از آنجائی که ورود ایندیوم در کریستال نیمه‌هادی ژرمانیوم باعث افزایش تعداد حفره‌ها می‌شود به همین علت اتم ایندیوم را یک ‌ ‌ ‌ می‌نامند و ژرمانیوم در این حالت یک مادهٔ ‌ ‌ ‌ می‌باشد.

اتم‌پذیرنده

نیمه‌هادی نوع P

از جمله عناصری که در مدار خود دارای ۳ الکترون ظرفیتی هستند، عناصری مانند ایندیوم، بُر، گالیوم را می‌توان نام برد. عناصر مذکور می‌توانند در ترکیب با نیمه‌هادی‌هائی که دارای چهار الکترون والانس در مدار خود هستند به عنوان ‌ ‌ ‌ عمل کنند.

اتم‌های پذیرنده



در سمت چپ تصویر یک شبکهٔ ژرمانیوم که در آن یک ‌ ‌ ‌ وارد شده است، نشان داده می‌شود و در شکل سمت راست تصویر یک شبکهٔ ژرمانیوم را نشان می‌دهد که در آن یک ‌ ‌ ‌ وارد شده است.

اتم‌دهنده

اتم‌پذیرنده

به طور کلی ناخالصی‌دهنده‌ها و پذیرنده‌ها در شبکهٔ نیمه‌هادی‌ها به عنوان اتم‌های خارجی محسوب می‌شوند.

به‌طور مثال در صورت ورود اتم‌های خارجی در یک

کریستال نیمه‌هادی، تعداد الکترونهای آزاد افزایش می‌یابد که در نتیجه این افزایش الکترونها باعث ازدیاد میزان قابلیت هدایت می‌شود.	
اگر یک ناخالصی‌دهنده در کریستال یک نیمه هادی وارد شود در آن صورت تعداد الکترونها افزایش می‌یابد که در این حالت این مادهٔ نیمه هادی را یک مادهٔ .... می‌نامند در حالی‌که اگر یک پذیرنده در کریستال نیمه‌هادی وارد شود در آن صورت تعداد حفره‌ها افزایش می‌یابد که در این حالت این مادهٔ نیمه هادی یک مادهٔ .... نامیده می‌شود.	نیمه‌هادی نوع N نیمه‌هادی نوع P
در یک کریستال نیمه‌هادی از نوع N که در آن بارهای منفی متحرک بیشتر از تعداد حفره‌ها می‌باشد، بارهای حامل منفی و یا به‌عبارتی الکترونها را .... و بارهای حامل مثبت یا به‌عبارتی حفره‌ها را .... می‌نامند در حالی که برعکس در کریستال نیمه‌هادی از نوع P که در آن تعداد حفره‌ها بیشتر از تعداد الکترونها می‌باشد، الکترونها .... و حفره‌ها .... نامیده می‌شوند.	حامل‌های اکثریت حامل‌های اقلیت حامل‌های اقلیت حامل‌های اکثریت

نیمه هادی‌ها

نیمه‌هادی‌ها که از مواد کریستالی تشکیل شده‌اند در مقایسه با فلزات دارای مقاومت الکتریکی بیشتری هستند و انتقال بار نیز در آنها توسط حامل‌های مثبت و منفی انجام می‌شود و قابلیت هدایت الکتریکی نیمه‌هادی‌ها نیز بین قابلیت هدایت الکتریکی هادی‌های فلزی و غیرهادی‌های ایدآل قرار دارد.

اتم‌های دهنده و پذیرنده در کریستال‌های نیمه هادی به عنوان اتم‌های خارجی محسوب می‌شوند و حتی تمرکز کم این اتم‌های خارجی در کریستالهای نیمه‌هادی می‌توانند تا حدودی روی میزان قابلیت هدایت الکتریکی تأثیر بگذارد.

به‌طور کلی از مهم‌ترین مواد نیمه هادی، اکسید مس، سلنیوم، ژرمانیوم، سیلیکان و گالیوم ارسنید را می‌توان نام برد.

هر یک از اتم‌های کریستال ژرمانیوم که دارای ۴ الکترون ظرفیتی است می‌تواند با هر یک از چهار اتم مجاورش یک الکترون خود را به اشتراک بگذارد. به طور کلی ژرمانیوم در صورتی که خالص باشد، در صفر درجهٔ کلوین (OK) به هیچ وجه هادی الکتریسته نیست زیرا در آن هیچ الکترون آزاد متحرکی وجود ندارد و به همین علت نیز دارای قابلیت هدایت الکتریکی نیز نیست. در حالی‌که در صورت اعمال گرما چند الکترون از این اتصال جدا می‌شوند که این فرآیند سبب ازدیاد حفره می‌شود. حفره‌ها که خصوصیت بارهای مثبت را دارند می‌توانند مانند الکترونها حرکت کنند. بدین ترتیب که چنین حفره‌هائی توسط الکترونهای اتم‌های مجاور پُر می‌شوند و در نتیجه باعث می‌شود که در مکانی که الکترون از آن خارج شده

است، مجدداً یک حفرهٔ دیگر تشکیل می‌شود و این فرآیند به‌همین ترتیب ادامه می‌یابد.

قابلیت هدایت الکتریکی

این مواد نیمه هادی که وابسته به انتقال حامل‌های مثبت و منفی می‌باشد، شدیداً به میزان حرارت وابستگی دارد به طوری‌که با افزایش درجهٔ حرارت میزان آن نیز افزایش می‌یابد.

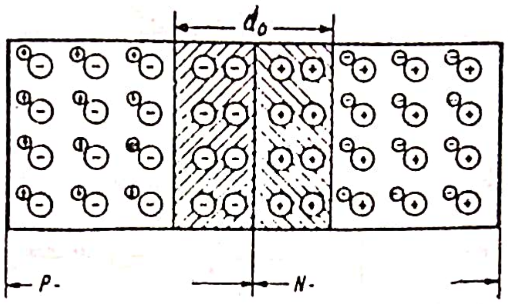
اضافه شدن ناخالصی به کریستال نیمه هادی نیز در میزان قابلیت هدایت الکتریکی مادهٔ مذکور تأثیر می‌گذارد. به‌طور مثال اضافه کردن مقدار کم اتم‌های آرسنیک یا آنتیموآن که دارای ۵ الکترون ظرفیتی هستند در کریستال ژرمانیوم سبب زیاد شدن تعداد الکترونهای آزاد می‌شود که در نتیجه قابلیت هدایت الکتریکی نیز افزایش می‌یابد.

الکترونهای آزاد

بنابراین اگر اتم‌های خارجی که دارای ۵ الکترون ظرفیتی هستند به کریستال ژرمانیوم وارد شوند در آن صورت میزان تعداد افزایش یافته و در نتیجه یک کریستال نیمه هادی از نوع N به‌وجود می‌آید در حالی‌که بر عکس اگر اتم‌های خارجی مانند ایندیوم، گالیوم یا آلومینیوم که دارای ۳ الکترون ظرفیتی هستند به کریستال ژرمانیوم وارد شود در آن

حفره‌ها

صورت میزان تعداد افزایش می‌یابد که در آن صورت یک کریستال نیمه هادی از نوع P به‌وجود می‌آید.

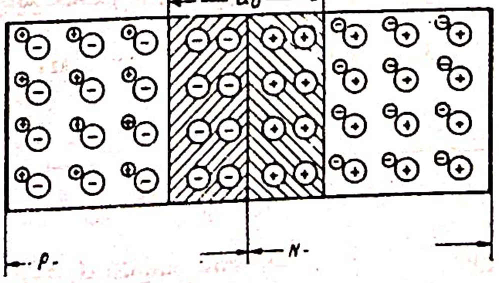


در شکل بالا تصویر یک دیود اتصالی نشان داده می‌شود که از اتصال یک دیود نیمه‌هادی از نوع N با یک دیود نیمه‌هادی از نوع P تشکیل شده است و در سمت چپ دیود نیمه هادی از نوع P می‌تواند به طور مثال آنتیموآن باشد که ناحیهٔ P را تشکیل می‌دهد اما آیا تصویر در سمت راست دیود نیمه‌هادی از نوع P را نشان می‌دهد؟ بله یا خیر؟

خیر

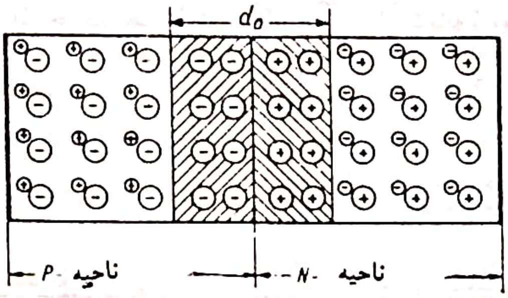
تصویر سمت راست مربوط به یک دیود نیمه هادی از نوع P نمی‌باشد زیرا در آنجا ازدیاد .... وجود دارد بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در سمت راست دیود نیمه هادی از نوع N وجود دارد.

الکترون



این نیمه هادی در شکل بالا از دو لایه تشکیل شده است به‌طوری که لایهٔ سمت چپ کریستال نیمه هادی از نوع P و لایهٔ

سمت راست کریستال نیمه هادی از نوع N می‌باشد.
این دو منطقهٔ مختلفی را که از دو لایهٔ نیمه هادی N و P تشکیل شده است به ترتیب ناحیهٔ N و ناحیهٔ P نیز می‌نامند.

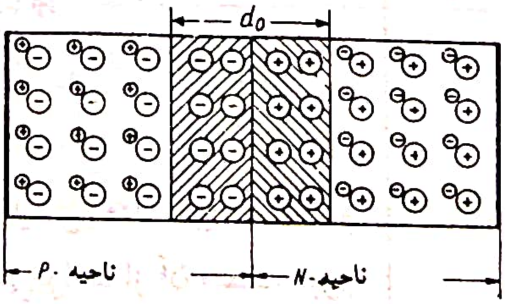


دیود اتصالی

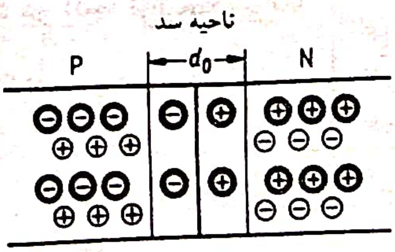
در شکل بالا تصویر یک نشان داده می‌شود که از دو لایه تشکیل شده است به طوری که در سمت چپ ناحیهٔ P و در سمت راست ناحیهٔ N قرار دارد.

ناحیهٔ اتصال

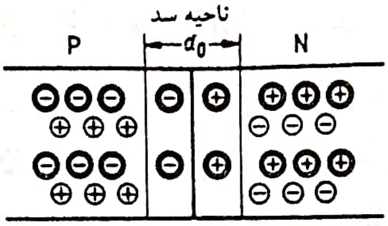
الکترونهائی که در ناحیهٔ N وجود دارند سعی می‌کنند با عبور از مرز مشترک بین ناحیهٔ N با ناحیهٔ P که آنرا «ناحیهٔ اتصال» می‌نامند به ناحیهٔ P که در آن الکترونهای آزاد کمتری وجود دارد، وارد شوند و برعکس حفره‌هائی که در ناحیهٔ P وجود دارند سعی می‌کنند با عبور از به‌منطقهٔ N وارد شوند تا بتواند با الکترونهای آزاد موجود در آنجا ترکیب شوند که در نتیجه چنین فرآیندی را «دیفوزیون» یا نشر می‌نامند.

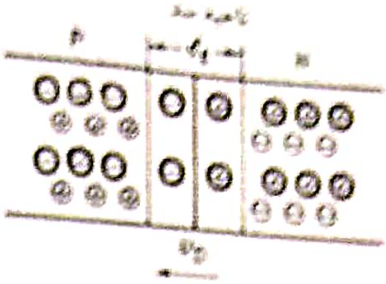


	در اینجا الکترونهای موجود در ناحیهٔ N با عبور از ناحیهٔ اتصال در ناحیهٔ P نفوذ می‌کنند و برعکس حفره‌های موجود در ناحیهٔ P نیز با عبور از ناحیهٔ اتصال در ناحیهٔ N نفوذ می‌کنند که این عمل نفوذ حامل‌ها را «دیفوزیون» می‌نامند.
دیفوزیون دیفوزیون	بنابراین تمرکز مختلفی از حامل‌ها را در یک دیود اتصالی نشان می‌دهد به‌طوریکه بر اثر عمل بین ناحیهٔ N و ناحیهٔ P منطقه‌ای به‌وجود می‌آید که آنرا «ناحیهٔ تخلیه» می‌نامند.
ناحیهٔ تخلیه	عمل دیفوزیون حامل‌های مثبت و منفی یک دیود اتصالی نیمه‌هادی در انجام می‌شود به طوری که حامل‌های مثبت و منفی و یا به عبارتی دیگر حفره‌ها و الکترونهای آزاد از ناحیهٔ تخلیه دور می‌شوند و در نتیجه دیگر حامل‌های اکثریت مثبت و منفی در آن منطقه یافت نمی‌شوند که به همین علت این منطقه را «ناحیهٔ تخلیه» می‌نامند. به‌عبارتی عمل دیفوزیون سبب به‌وجود آمدن لایه‌ای از اتم‌های دهنده و پذیرندهٔ یونیزه شده‌ای می‌شود که دارای مقاومت زیادی می‌باشد:

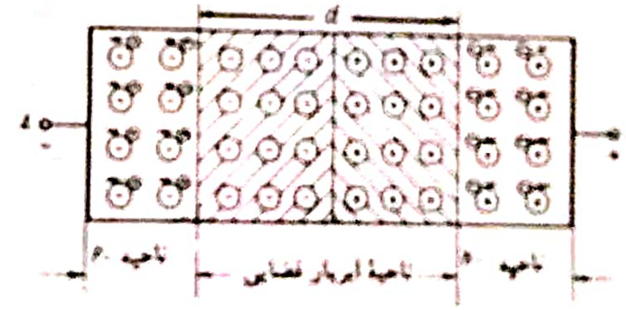


البته ناحیهٔ تخلیه را «ناحیهٔ سد» نیز می‌نامند زیرا هیچکدام از حامل‌های اکثریت مثبت و منفی نمی‌توانند از آن منطقه عبور

کنند. در صورتی که هیچگونه ولتاژی به دو سر دیود اتصالی اعمال نشود، ناحیهٔ سد دارای ضخامت do می‌گردد.	
 در این نیمه‌هادی که یک دیود اتصالی می‌باشد به علت عمل دیفوزیون یک به‌وجود آمده است که آنرا «لایهٔ مسدود» نیز می‌نامند. از این که از تراکم بارهای دهنده و پذیرندهٔ یونیزه شده‌ای تشکیل شده است، هیچکدام از حامل‌های اکثریت مثبت و منفی نمی‌توانند عبور کنند. حال اگر به دو سر این دیود نیمه‌هادی که یک دیود اتصالی PN نامیده می‌شود، ولتاژ معکوسی اعمال شود، به‌طوری‌که به ناحیهٔ P ولتاژ منفی و به ناحیهٔ N ولتاژ مثبت اعمال شود، الکترونهای آزاد ناحیهٔ N به‌طرف سر مثبت و حفره‌های ناحیهٔ P به‌طرف سرمنفی باطری جذب می‌شوند و در نتیجه باعث می‌شود که حفره‌ها و الکترونها به میزان بیشتری از ناحیهٔ سد دور شوند.	ناحیهٔ سد ناحیهٔ سد



در شکل بالا تصویر یک دیود اتصالی PN نشان داده می‌شود. از آنجائی‌که در این دیود اتصالی PN تمرکزی از حامل‌های مثبت در ناحیهٔ P وجود دارد، در نتیجه یک میدان الکتریکی با شدت $\vec{E}_D$ و ولتاژ U_D به‌وجود می‌آید که ولتاژ مذکور را «ولتاژ دیفوزیون» می‌نامند.	دیود اتصالی PN دیود اتصالی PN
بدین ترتیب در صورت اعمال ولتاژ معکوس به دو سر دیود هنگامیکه میزان ولتاژ دیفوزیون U_D که آنرا ولتاژ سد نیز می‌نامند با میزان ولتاژ باطری برابر شود دیگر در دیود اتصالی PN جریانی برقرار نمی‌شود و جریان متوقف می‌گردد.	ولتاژ دیفوزیون

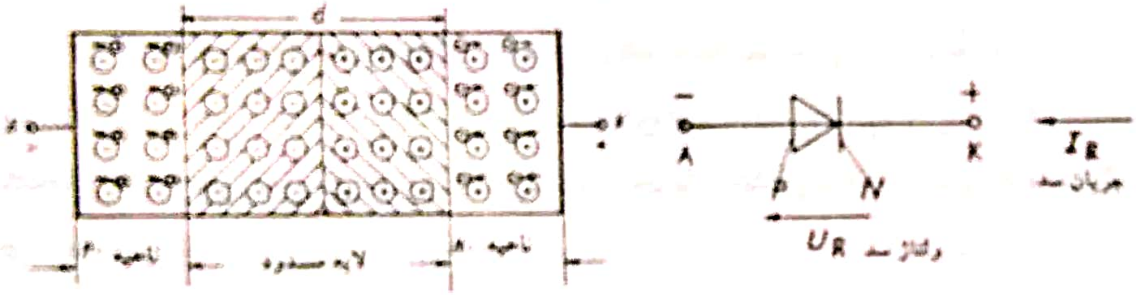


در شکل بالا تصویر یک دیود اتصالی PN نشان داده می‌شود.	دیود اتصالی PN
حال اگر ولتاژی معکوس به دو سر دیود اعمال شود به‌طوری‌که قطب مثبت منبع ولتاژ به ناحیهٔ N- و قطب منفی منبع ولتاژ به ناحیهٔ P متصل شود، در این حالت الکترونهای ناحیهٔ N به طرف قطب مثبت و حفره‌های ناحیهٔ P به طرف قطب	ناحیهٔ N- ناحیهٔ P

منفی منبع ولتاژ جذب می‌شوند که در نتیجه میزان ولتاژ دیفوزیون نیز افزایش می‌یابد و ضخامت لایهٔ مسدود بیشتر می‌شود. به عبارت دیگر ضخامت d بیشتر از do می‌گردد.

از آنجائی‌که از ناحیهٔ تخلیه عملاً حامل‌های الکتریت بیشتر دور می‌شوند و در این ناحیه دیگر بارهای الکتریکی وجود ندارند، مقاومت آن نیز افزایش می‌یابد و جریان آن نیز قطع می‌گردد. $(R \sim d > do)$

به‌عبارت دیگر در این حالت جریان الکتریسیته در این دیود اتصالی PN قطع می‌گردد.



در شکل بالا تصویر یک که یک دیود نیمه هادی می‌باشد، نشان داده می‌شود.

حال اگر روی این ولتاژی معکوس اعمال شود به‌طوری که قطب منفی منبع ولتاژبه و قطب مثبت منبع ولتاژ به متصل گردد در آن صورت پس از مدتی جریان در دیود نیمه‌هادی قطع می‌گردد.

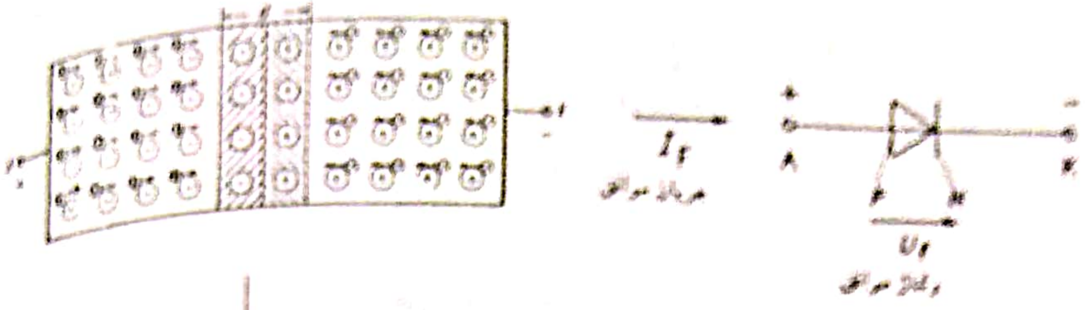
بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اعمال ولتاژ با پلاریته معکوس سبب قطع جریان الکتریسیته می‌شود و در واقع مدار متصل به‌دو سر دیود در جهتی بسته شده است که جریان قطع می‌گردد.

دیود اتصالی PN

دیود نیمه‌هادی

ناحیهٔ P

ناحیهٔ N



شکل بالا تصویر یک ________ را نشان می‌دهد. | دیود نیمه‌هادی

آیا مدار متصل به دو سر دیود در جهتی بسته شده است که جریان قطع می‌گردد؟ بله یا خیر؟ ________ مدار متصل به دو سر دیود در جهتی بسته شده است که جریان از دیود عبور می‌کند زیرا قطب منفی منبع ولتاژ به ________ و قطب مثبت منبع ولتاژ به ________ متصل می‌باشد. به عبارتی با اعمال ولتاژ مستقیم به دو سر دیود در محل اتصال میزان مقاومت کاهش می‌یابد و در نتیجه باعث عبور جریان الکترونها می‌گردد و جریان زیادی بر قرار می‌شود. | خیر — ناحیهٔ N. — ناحیهٔ P

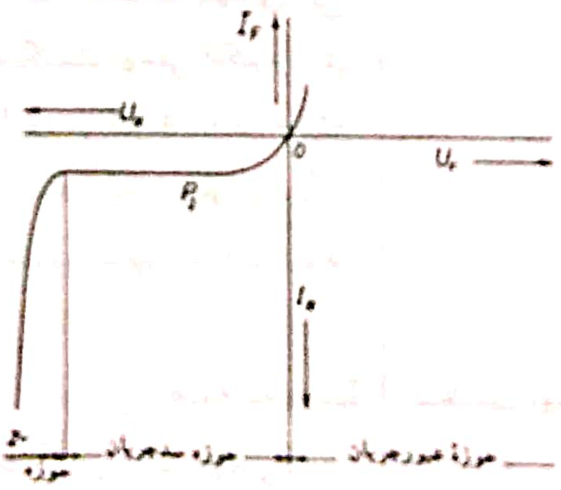
بنابراین مدار متصل به دو سر دیود می‌تواند در جهتی بسته‌شده باشد که با اعمال ________ جریان زیادی از دیود نیمه‌هادی عبور کند و برعکس مدار متصل به دو سر دیود می‌تواند در جهتی بسته شده باشد که با اعمال ________ میزان ولتاژ نیز افزایش یابد که این ولتاژ را «ولتاژ سد» $U_R = -U_F > O$ نیز می‌نامند. | ولتاژ مستقیم — ولتاژ معکوس

بنابراین در صورت اعمال ________ U_R به هیچ وجه حامل‌های اکثریت عبور نمی‌کنند و فقط جریان حامل‌های اقلیت به میزان ناچیزی عبور می‌کنند که «جریان قطع» نامیده می‌شود. جریان

قطع را «جریان سد» $I_R = - I_F > O$ نیز می‌نامند.

بنابراین مدار متصل به دو سر دیود می‌تواند در جهتی بسته شود که با اعمال ولتاژ با پایاس معکوس به دیود میزان U_R افزایش یابد. — ولتاژ سد

از آنجائی که در این حالت فقط جریان حامل‌های اقلیت به میزان ناچیزی عبور می‌کند، در نتیجه I_R برقرار می‌گردد. در نتیجه میزان I_R که تا حدودی به میزان ولتاژ سد وابستگی دارد فقط تا رسیدن ولتاژ سد به میزان معینی ثابت می‌ماند و در صورتی که میزان ولتاژ سد از آن حد تجاوز کند، در آن صورت میزان جریان سد نیز به طور ناگهانی افزایش می‌یابد که این فرآیند را «پدیدهٔ شکست» می‌نامند و میزان ولتاژ سد را در این حد که پدیدهٔ شکست رخ می‌دهد، «ولتاژ شکست» یا «ولتاژ زنر» می‌نامند. — جریان سد — جریان سد



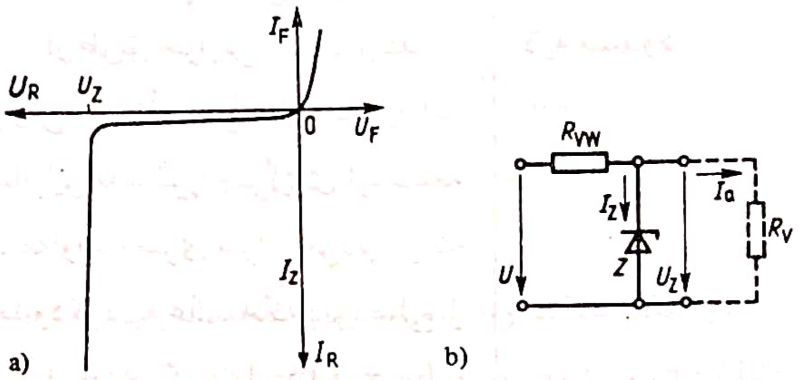
در اینجا منحنی مشخصهٔ یک دیود اتصالی PN نشان می‌دهد که میزان جریان سد I_R در صورت تجاوز از میزان — ولتاژ شکست

به‌طور ناگهانی شدیداً افزایش می‌یابد که این پدیده را می‌نامند.	پدیدهٔ شکست
پس از وقوع که میزان ولتاژ بـه زیر 5,6V مـی‌رسد، انـدازهٔ مـیدان الکـتریکی آنقدر زیـاد مـی‌شود کـه الکترونها از اتصال شبکهٔ اتمی جدا مـی‌شوند. ایـن شکست را «شکست زنر» یا «اثر زنر» نیز می‌نامند.	پدیدهٔ شکست
بنابراین در صورت رسیدن میزان ولتاژ به زیـر 5,6V پـدیدهٔ شکست رخ می‌دهد کـه آنـرا می‌نـامند. در هـنگام شکست زنر الکترونها به علت قوی بودن اثر میدان الکتریکی از اتصال شبکهٔ اتمی جدا می‌شوند که در نتیجه چنین پدیده‌ای را می‌نامند.	شکست زنر اثر زنر
فـقط در حالتی پیش می‌آید که مدار متصل به دو سر دیود در جهتی بسته شده باشد که باعث قطع جریان گردد.	اثر زنر
در پـی وقـوع پـدیدهٔ شکست، در صـورت رسـیدن ولتـاژ شکست بـه حـد بـالاتر از 5,6V پـدیدهٔ «شکست بـهمنی» رخ می‌دهد. به عبارتی در هنگام وقوع شکست بهمنی الکترونهای آزاد موجود دارای آنچنان شتاب زیادی می‌شوند که در مـوقع برخورد به اتم‌های دیگر باعث جـدا شـدن الکـترونهای دیگـر می‌گردند و بدین ترتیب ایـن عـمل سـبب یـونیزه شـدن اتـم‌ها می‌شود. بنابـر ایـن پـدیدهٔ بـیشتر از هـمه به پدیدهٔ یونیزاسـیون بستگی دارد کـه ایـن حـالت را «اثـر بـهمنی» نـیز می‌نامند.	شکست بهمنی
بنابراین در صورت رسیدن ولتـاژ بـه مـیزان بـالاتر از 5,6V	

پدیدهٔ شکست را می‌نامند.	شکست بهمنی
پدیدهٔ فقط درحالتی پیش‌می‌آیدکه مدار متصل به دو سر دیود در جهتی بسته شده باشد که باعث قطع جریان گردد.	شکست بهمنی
در هنگام الکترونهای آزاد موجود به علت دارا بودن شتاب زیاد در موقع برخورد به اتم‌های دیگر باعث جدا شدن الکترونهای دیگری از اتصال شبکهٔ اتمی می‌شوند.	اثر بهمنی

ولتاژ سد

میزان ولتاژ سد که روی یک دیود اتصالی PN اعمال می‌شود نبایداز حد معینی تجاوز کند. این مقدار حد که عملاً به میزان حرارت وابستگی ندارد در صورتی وجود دارد که اندازهٔ میدان الکتریکی‌ای که در لایهٔ مسدود تولید می‌شود به مقدار کافی زیاد باشد تا سبب آزاد شدن الکترون‌ها از اتم‌های شبکه شود به عبارتی این افزایش ناگهانی حامل‌ها باعث می‌شود که ضخامت لایهٔ مسدود نیز افزایش یابد و این فقط در حالتی پیش می‌آید که ولتاژ معکوس به دو سر اعمال شده باشد و به عبارتی مدار متصل به دو سر دیود در جهتی بسته شده باشد که باعث قطع جریان گردد اما در صورت رسیدن میزان ولتاژ شکست به حد بالاتر به علت تولید ناگهانی حامل‌ها به خصوص در دیودهائی که لایهٔ مسدود آنها دارای ضخامت خیلی باریکی نیستند و نیز تأثیر میدان الکتریکی قوی داخلی، فرآیند افزایش یونها به متصل می‌آید که آن را «شکست بهمنی» یا اثر بهمنی می‌نامند. بنابراین در دیودها تا زمانی‌که میزان ولتاژ به حد ولتاژ شکست نرسیده باشد، جریان عبور نمی‌کند و در صورت رسیدن به این حد، جریان به آسانی عبور می‌کند در حالی‌که کابرد دیود زنر در ناحیهٔ ولتاژ شکست می‌باشد و به منظور ثابت نگه داشتن و تنظیم مقدار ولتاژ مورد استفاده قرار می‌گیرد به عبارتی در صورت اعمال ولتاژ معکوس به دو سر دیود زنر در ابتدا فقط جریان سد به میزان ناچیزی عبور می‌کند اما در صورتی که میزان ولتاژ اعمال شده به حد ولتاژ شکست برسد، در آن صورت جریان از دیود عبور می‌کند.



شکل ۲ : دیود زنر (دیود Z)

a) منحنی مشخصه $I_Z = f(U_R)$، ولتاژ زنر U_Z تقریباً ثابت است.

b) مدار مربوط به ولتاژی که ثابت نگه داشته شده است.

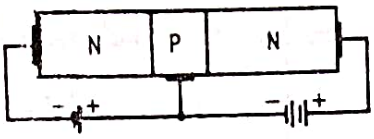
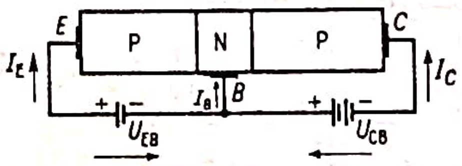
منحنی مشخصهٔ دیود در شکل 1a وابستگی جریان زنر I_Z به ولتاژ سد U_R را نشان می‌دهد که البته در این حالت مدار متصل به دو سر دیود در جهتی بسته شده است که باعث قطع جریان می‌شود. در روی منحنی مشخصه درحالی‌که منحنی

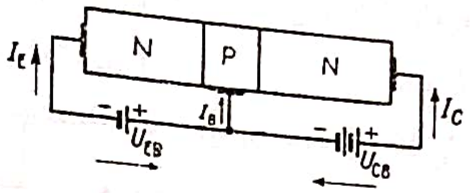
ولتاژ زنر

U_Z به‌طور شدیدی خمیدگی پیدا می‌کند، میزان جریان I_Z نیز به طور سریعی افزایش می‌یابد و برای آنکه از تخریب دیود زنر به علت افزایش ناگهانی جریان جلوگیری شود، نباید میزان جریان زنر I_Z که متناسب با میزان تلفات توان $\hat{P}_{\text{ب}}$ تعیین می‌گردد از میزان حداکثر $I_{Zmax} = \hat{P}_{\text{ب}}/U_Z$ تجاوز کند. البته این شکست الکتریکی ناگهانی لایهٔ مسدود قابل برگشت نیز باشد. به عبارتی در صورت کاهش ولتاژ سد $|U_R|$ به میزان کمتر از ولتاژ زنر U_Z که ولتاژ شکست نیز نامیده می‌شود، ناحیهٔ اتصال در دیود دوباره فاقد حامل‌های باردار می‌شوند و در نتیجه تأثیر بار سد کننده افزایش می‌یابد و جریان سد به حد اشباع می‌رسد. البته این فقط در حالتی است که مقادیر گرمائی که در هنگام افزایش

ناگهانی جریان آزاد می‌شود، آنقدر سریع خارج می‌شود که ساختمان کریستالی لایهٔ مسدود از طریق حرارتی آسیب نبیند.

از آنجائی‌که این سد حرارتی قاعدتاً منجر به ایجاد تغییرات غیرقابل برگشتی می‌شود، بنابراین به‌منظور جلوگیری از صدمه دیدن دیود باید با بستن یک مقاومت سری میزان جریانی را که از دیود زنر عبور می‌کند، محدودکرد. به علت آنکه دیودهائی از جنس ژرمانیوم جریانهای سد خیلی کمتر از $I_R = 1nA$ را می‌توانند از خود عبور دهند، به همین علت ترجیحاً از دیودهائی به نام «زنر» که از جنس سیلیسیوم میباشد و به آن مقداری ناخالصی اضافه شده است، استفاده می‌شود. علاوه بر آن خمیدگی منحنی مشخصهٔ آنها نیز بیشتر از خمیدگی منحنی دیودهائی از نوع ژرمانیوم می‌باشد زیرا تأثیرات حرارتی کمتری را نشان میدهند. دیودهای زنر برای ولتاژهائی از ۲V تا تقریباً ۶۰V و تلفات توان تا میزان $\hat{P}_{tot} = ۱۰W$ ساخته می‌شوند.

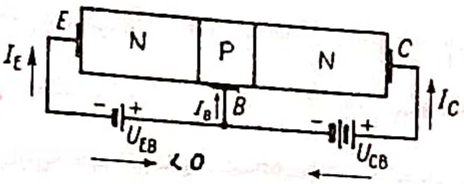
 در شکل بالا تصویر شماتیکی از ساختمان یک نشان داده می‌شود. این ترانزیستور از دو لایهٔ نیمه هادی نوع N تشکیل شده است که در بین آنها لایهٔ نازکی از مادهٔ نیمه هادی نوع P وجود دارد به طوری که این دو لایهٔ ضخیم‌تر را از هم جدا می‌سازد. چنین اتصالی را اتصال NPN می‌نامند.	ترانزیستور
 در تصویر بالا ساختمان یک با اتصال PNP نشان داده می‌شود. یک ترانزیستور از یک نیمه هادی با سه قسمت و یا به عبارتی سه لایه تشکیل شده است که دو لایهٔ ضخیم‌تر آن هم نوع و لایهٔ نازک‌تر سومی از نوع دیگری می‌باشد. بنابراین اتصال ترانزیستور یا می‌تواند به صورت و یا به‌صورت باشد. منطقه وسطی که لایهٔ خیلی نازکی دارد آنرا «بیس» یا «پایه» می‌نامند و بدین ترتیب لایهٔ سمت چپ «امیتر» یا منتشرکننده و لایهٔ سمت‌راست«کلکتور» یاجمع‌کنندهٔالکترونی نامیده می‌شود.	ترانزیستور NPN PNP



ترانزیستور NPN

نمایش

در شکل بالا تصویر ساختمان یک   داده می‌شود به طوریکه قسمت P در اینجا بیس، قسمت سمت   چپ N امیتر و قسمت سمت راست P کلکتور می‌باشد.



ترانزیستور NPN

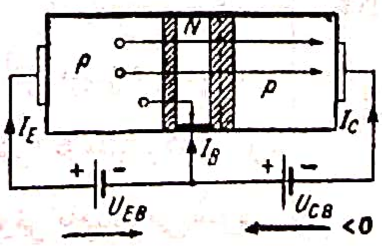
شکل بالا تصویر ساختمان یک   را نشان می‌دهد به طوریکه امیتر، بیس و کلتکتور هر کدام به یک الکترود متصل می‌باشند.

امیتر

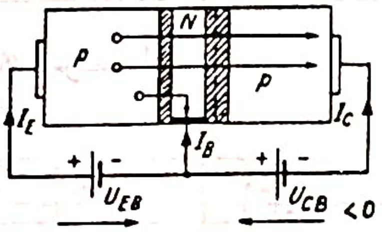
بیس ـ کلکتور

بدین‌صورت که الکترود E به   و الکترودهای B و C نیز هر یک به ترتیب به   و   متصل شده‌اند.

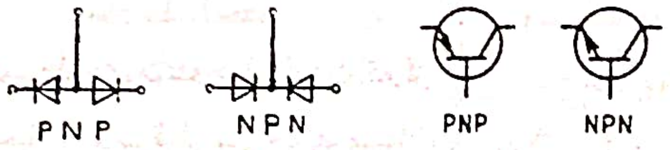
هر دو منابع ولتاژ U_{EB} و U_{CB} طوری به الکترودهای E و B و همچنین B و C در مدار بسته شده‌اند که منبع ولتاژ U_{EB} بین امیتر و بیس ولتاژ مستقیم اعمال می‌کند در حالی‌که منبع ولتاژ U_{CB} بین بیس و کلکتور ولتاژ معکوس اعمال می‌کند.

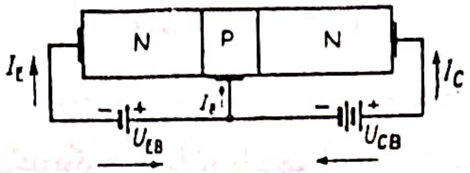
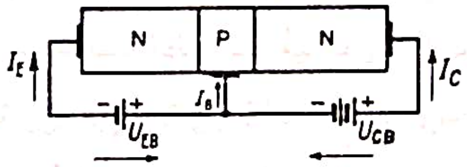


در شکل بالا تصویر شماتیک ساختمان یک نشان داده می‌شود.	ترانزیستور PNP
دراینجا منابع ولتاژ طوری در مدار بسته شده‌اند که بین امیتر و بیس و بین بیس و کلکتور اعمال می‌شود. به‌عبارت دیگر به پلاریتهٔ مثبت و به پلاریتهٔ منفی ولتاژ اعمال می‌شود.	ولتاژ مستقیم ولتاژمعکوس - امیتر - کلکتور
جریانی که به علت ترکیب مجدد الکترونهای آزاد با حفره‌ها بوجود می‌آید و از بیس عبور می‌کند، جریان بیس I_B نامیده می‌شود.	
میزان I_B بسیار کم است.	جریان بیس



مدار متصل به این ترانزیستور طوری بسته شده است که از امیتر به داخل بیس جریان حفره‌ها برقرار می‌شود. میزان در بیس کمی ضعیف است. به‌عبارتی میزان جریان بیس که به علت ترکیب مجدد حفره‌ها و الکترونهای آزاد به‌وجود می‌آید بسیار کم می‌باشد. جریان حفره‌ها که به لایهٔ مرزی یا پیوندگاه بین بیس و کلکتور می‌رسد توسط میدان الکتریکی موجود در کلکتور به داخل کلکتور جذب می‌شود و سرانجام در آنجا به طرف پلاریتهٔ منفی منبع ولتاژ U_{CB} که به بیس و کلکتور متصل شده است، حرکت می‌کند و در آنجا توسط الکترونها پُر می‌شوند.	جریان حفره‌ها

بنابراین در الکترود متصل به کلکتور C ترکیب مجددی از الکترون‌های I_C - به وجود می‌آید که از خارج وارد است و در این حالت میزان I_C - تقریباً به همان اندازهٔ میزان جریان امیتر می‌باشد.	جریان کلکتور
میزان جریان بیس که در ترانزیستور از بیس عبور می‌کند، کم است. بنابراین رابطهٔ زیر چنین صدق می‌کند: $\lvert E \rvert + I_B = \lvert I_C \rvert$ و به همین علت میزان جریان کلکتور I_C تقریباً به همان اندازهٔ I_E است و میزان جریان کلکتور I_C چندین برابر جریان بیس I_B می‌باشد. رابطهٔ $\propto = \Delta I_C/\Delta I_E$ نسبت تغییرات جریان کلکتور را به تغییرات جریان امیتر بیان می‌کند که با علامت $\propto$ آنرا نشان می‌دهند.	جریان امیتر
 به‌طور کلی ترانزیستورها به دو نوع PNP و NPN تقسیم می‌شوند که دارای دو علامت مشخصهٔ متفاوت می‌باشند به طوری که در ترانزیستور نوع PNP جهت پیکان امیتر به طرف داخل است به عبارتی جریان امیتر در این نوع ترانزیستور وارد می‌شود و از کلکتور خارج می‌گردد در حالی‌که در ترانزیستور نوع NPN جهت پیکان امیتر به طرف خارج است. به‌عبارتی جریان امیتر از آن خارج می‌شود و جریان کلکتور به آن وارد می‌گردد.	

رابطهٔ $\alpha = \Delta I_C/\Delta I_E$ که نسبت را به نشان می‌دهد در صورتی به وجود می‌آید که مدار متصل به‌ترانزیستور به صورت زیر بسته شده باشد:  این مدار را «مدار بیس ـ مشترک» می‌نامند. مدار بیس ـ مشترک یکی از سه مدار اساسی ترانزیستور می‌باشد و دو مدار اصلی دیگر «مدار امیتر ـ مشترک» و «مدار کلکتور ـ مشترک» نامیده می‌شود.	تغییرات جریان کلکتور ـ تغییرات جریان امیتر
 در شکل بالا یک ترانزیستور نوع NPN در یک مدار به کار رفته است. بیس، اتصال مشترک مدار ورودی (در اینجا مدار امیتر) و مدار خروجی (در اینجا مدار کلکتور) می‌باشد. بنابراین مدار ترانزیستور از اتصالی تشکیل شده است که مدار ورودی را با مدار خروجی ترانزیستور مشترک می‌سازد. دو مدار اساسی دیگر ترانزیستور، مدار امیتر ـ مشترک و مدار کلکتور ـ مشترک نامیده می‌شوند.	بیس ـ مشترک
در مدار امیتر ـ مشترک، اتصالی است که مدار ورودی	امیتر

را با مدار خروجی مشترک می‌سازد و به همین ترتیب در مدار کلکتور ـ مشترک، اتصالی است که مدار ورودی را با مدار خروجی مشترک می‌سازد.	کلکتور
در مورد رابطهٔ جریان در مدار امیتر ـ مشترک صدق می‌کند. $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \gg 1$	
که در این حالت β را «ضریب تقویت‌کنندگی جریان» یا «بهرهٔ جریان» می‌نامند که این در مدار کلکتور ـ مشترک نیز صدق می‌کند زیرا رابطهٔ جریان به‌صورت $\beta = \frac{\Delta I_E}{\Delta I_B} = \beta + 1 \gg 1$ می‌باشد.	ضریب تقویت کنندگی جریان

«ترانزیستورها»

ترانزیستورها که از دیودهای نیمه‌هادی ساخته شده‌اند جزء مهمترین اِلمانهای نیمه هادی در سیستم مخابراتی محسوب می‌شوند.

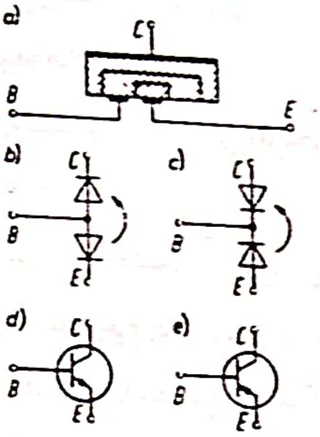
ترانزیستورها که دارای سه قسمت مختلف امیتر، بیس و کلکتور هستند از مواد نیمه‌هادی سیلیسیوم یا ژرمانیوم ساخته می‌شوند. همچنین آنها می‌توانند دارای مداهائی با سه نوع اتصال مختلف باشند که آنها را مدار ، مدار ، مدار می‌نامند. مدل ساختمان یک ترانزیستور که الکترودهای آن بصورت صفحات موازی با یکدیگر قرار دارند در شکل 1a نشان داده می‌شود بطوریکه کلکتور C با مادهٔ اصلی ارتباط دارد و اتصالات ناحیه‌های دیگر بیس و امیتر نامیده می‌شوند بنابراین اگر در این حالت ناحیهٔ کلکتور و امیتر مادهٔ نیمه‌هادی از نوع N و ناحیهٔ بیس مادهٔ نیمه‌هادی از نوع Pداشته باشد در آن صورت ساختمان این ترانزیستور اتصالی از نوع می‌شود برعکس اگر مادهٔ نیمه‌هادی کلکتور و امیتر از نوع P و مادهٔ نیمه‌هادی بیس از نوع N باشد در آن صورت ساختمان ترانزیستور اتصالی از نوع می‌شود.

بیس مشترک -
امیتر مشترک -
کلکتور مشترک

ترانزیستورNPN

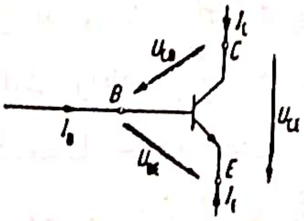
ترانزیستور PNP

شکل ۱: ترانزیستور
a) مدل ساختمان ترانزیستور
b) علامت سمبل دیود
ترانزیستور NPN
c) علامت سمبل دیود
ترانزیستور PNP
d) علامت مشخصهٔ مداری
ترانزیستور NPN
e) علامت مشخصهٔ مداری
ترانزیستور PNP



بنابراین بطور کلی ساختمان یک ترانزیستور از دو دیود تشکیل می‌گردد که بیس در بین اتصال دو دیود قرار دارد و از آنجائیکه ناحیهٔ بیس دارای ضخامت باریکی است در نتیجه جریانهای دیودهانیز به یکدیگر وابستگی دارند بطوریکه ترانزیستورها را می‌توان طوری ساخت که مدار متصل به ترانزیستور در جهتی بسته شود که منبع ولتاژ بین امیتر و بیس ولتاژ مستقیم اعمال کند و منبع ولتاژ بین بیس و کلکتور ولتاژ معکوس اعمال کند. در این حالت همانطور که در شکل‌های 1b و 1c نشان داده می‌شود، میزان جریان کلکتور در مدار بیس مشترک که از اتصال مدار ورودی یا حلقهٔ امیتر - بیس به مدار خروجی یا حلقهٔ بیس - کلکتور تشکیل شده است می‌تواند توسط جریان امیتر کنترل شود. بنابراین می‌توان میزان جریان معکوس کنترل شده را به همان میزان جریان مستقیم در مدار ورودی یا حلقهٔ امیتر - بیس که از امیتر عبور می‌کند، افزایش داد.

اگر به علامت مدار ترانزیستورهای نوع NPN و PNP در شکلهای 1d و 1c توجه کنیم در آن صورت متوجه می‌شویم که جهت پیکان امیتر در ترانزیستور نوع NPN بطرف خارج است بطوریکه در این حالت جریان امیتر از آن خارج می‌شود و جریان کلکتور به آن وارد می‌گردد در حالیکه جهت پیکان امیتر در ترانزیستور PNP به‌طرف داخل می‌باشد به طوریکه در این نوع ترانزیستور جریان امیتر وارد می‌شود و ار کلکتور خارج می‌شود.



شکل ۲: جهت پیکان جریان و ولتاژ در ترانزیستور

«لامپ‌های الکترونی دارای شبکه»

لامپ‌های الکترونی به این علت کاربردهای مختلفی پیدا کردند که با اضافه‌شدن یک یا چند الکترود بنام «شبکه» یا «گرید» در فضای بین کاتد و آند عملاً حرکت الکترونها از کاتد بطرف آند قابل کنترل می‌شود.

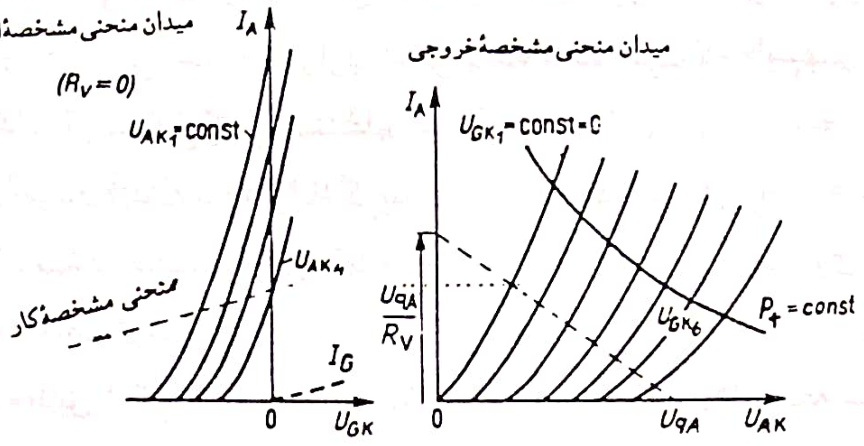
حال اگر در ابتدا فقط یک شبکه به عنوان الکترود سوم در یک لامپ الکترونی وارد شود، در آن صورت ورود الکترود سوم که آن را «شبکه کنترل» می‌نامند باعث می‌شود که یک «لامپ سه‌قطبی» تشکیل شود که «لامپ تریود» نامیده می‌شود (مانند شکل ۱).

از آنجائیکه پتانسیل شبکه روی بار منفی اطراف کاتد و نتیجتاً روی حرکت الکترونها تأثیر می‌گذارد. بنابراین میان جریان آند I_A به میزان ولتاژ آند U_{AK} و ولتاژ گرید U_{GK} بستگی دارد. درصورت اعمال ولتاژ منفی به گرید و افزایش ولتاژ مثبت آند، بارهای منفی (الکترونها) دیگر نمی‌توانند به شبکه برسند و در نتیجه کل جریان انتشار الکترون از کاتد بصورت جریان آند از میان شبکه بطرف آند حرکت می‌کند و دیگر جریان گرید ایجاد نمی‌شود. البته با تغییر میزان ولتاژ منفی گرید می‌توان بدون توان جریان آند را کنترل کرد.

شکل ۱: شکل سمبلیک یک
لامپ تریود با کاتد گرم
شونده غیر مستقیم
f = هیتر یا مشعل گرم
کننده کاتد (فیلامانی که به منظور
گرم کردن کاتد بطور جداگانه از آن
استفاده می‌شود)

A = آند
K = کاتد
G = گرید یا شبکه

میدان منحنی مشخصهٔ خروجی



شکل ۲: میدانهای منحنی مشخصهٔ یک لامپ تریود
$U_{AK_1} > U_{AK_2} > U_{AK_3} \ldots$
$U_{GK_1} > U_{GK_2} > U_{GK_3} \ldots (U_{GK_1} = 0)$

خصوصیات یک لامپ تریود با توجه به میدانهای منحنی مشخصه نیز قابل تشخیص می‌باشد که عمل بصورت دو نوع تصویر نشان داده می‌شود: میدان منحنی مشخصهٔ $I_A = f(U_{GK})$ با ولتاژ آند U_{AK} به عنوان پارامتر و میدان منحنی مشخصهٔ $I_A = f(U_{AK})$ با ولتاژ گرید U_{GK} به عنوان پارامتر.

همانطور که شکل ۲ نشان می‌دهد، میدانهای منحنی مشخصه از یک دسته از منحنی‌های غیرخطی تشکیل شده است که مانند جریان منحنی مشخصهٔ ابر بار فضائی مربوط به شکل ۳ جریان دارند.

شکل ۳: منحنی مشخصهٔ دیود درناحیهٔ ابر بار فضائی که آنرا منحنی مشخصهٔ ابر بار فضائی نیز می‌نامند

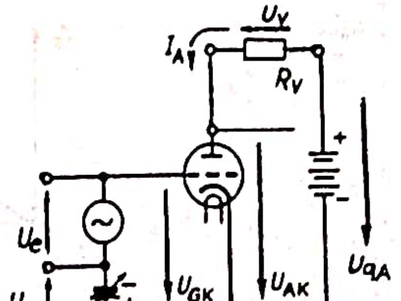
در صورت اعمال ولتاژ مثبت گرید U_{GK} دیگر کنترل بدون توان امکان‌پذیر نمی‌باشد زیرا در آن صورت به میزان کمی جریان گرید I_G برقرار می‌شود که منحنی آن روی

شکل ۲ نشان داده می‌شود. در اینجا جریان آند اختلاف جریان انتشار الکترون از کاتد و جریان گرید را نشان می‌دهد. در موارد خاص دیده شده است که لامپهای تریود در ناحیهٔ ولتاژ مثبت گرید قابل کنترل نیستند.

وابستگی جریان آند به میزان ولتاژ گرید می‌توان فقط در صورتی بطور غیرمستقیم با توجه به میدان منحنی مشخصهٔ $I_A = f(U_{GK})$ (شکل ۲) تعیین گردد که روی آند و کاتد ولتاژ ثابت U_{AK} اعمال شود.

حال اگر مطابق شکل ۴ به مدار آند یک مقاومت خارجی R_V بسته شود در آن صورت ولتاژ آند U_{AK} که به لامپ اعمال می‌شود نسبت به پتانسیل باطری U_{qA} در مقاومت خارجی $U_V = I_A R_V$ دارای افت ولتاژ کمتری می‌شود که به میزان جریان آند I_A وابستگی دارد.

بنابراین صدق می‌کند: $U_{AK} = U_{qA} - I_A R_V$ که بصورت یک خط منحنی روی میدان منحنی مشخصهٔ خروجی در شکل ۲ نشان داده می‌شود. از آنجائیکه میزان ولتاژ آند U_{AK} با افزایش جریان I_A کاهش می‌یابد، بنابراین تابع مطلوب $I_A = f(U_{GK})$ دارای شیب کمتری می‌شود تا در شکل ۲ روی میدان منحنی مشخصهٔ انتقالی که فقط در حالت $R_V = O$ معتبر است. با توجه به منحنی‌های مشخصهٔ انتقالی یا منحنی‌های مشخصهٔ اتصال کوتاه، «منحنی مشخصهٔ کار» بدست می‌آید:



شکل ۴: تصویر شماتیک یک مدار تقویت کننده که دارای لامپ تریود و ولتاژ متناوب خروجی U_e است.

مدار شکل ۴ فرم اصلی یک تقویت کنندهٔ لامپی را نشان می‌دهد. تأثیر این تقویت کنندگی نیز در صورتی بدست می‌آید که میزان ولتاژ خروجی U_V بیشتر از میزان ولتاژ U_e که به‌طور سری با ولتاژ معادل گرید U_{qG} اعمال می‌شود، باشد. اگر قرار شود که لامپ تریود بدون توان کار کند، در آن صورت باید میزان ولتاژ معادل گرید U_{qG} طوری تنظیم شود که برای تمام مقادیر مربوط به ولتاژ U_e همیشه میزان گرید کوچکتر از صفر $U_{GK} < O$ باشد.

«ترانزیستور»

ترانزیستور که دارای سه الکترود است، یک اِلمان نیمه‌هادی می‌باشد که به‌منظور تقویت سیگنال مورد استفاده قرار می‌گیرد. ترانزیستورها که به انواع ترانزیستورهائی از جنس ژرمانیم و سیلیکان تقسیم می‌شوند می‌توانند دارای اتصال PNP یا NPN باشند. در اینجا همانطور که در شکل‌های ۱ و ۲ مشاهده می‌کنید، علامت‌های مدار ترانزیستور نشان داده می‌شود. یک ترازیستور از دو دیود نیمه‌هادی تشکیل شده است که در میان آنها یک لایهٔ نیمه‌هادی مشترک N یا P قرار دارد بطوریکه الکترود متصل به آن بیس B نامیده می‌شود و دو الکترود دیگر را امیتر E و کلکتور C می‌نامند. مدار معادل دیودها در کنار علامت‌های سمبلیک مدار ترازیستور مدل ساختمانی یک ترانزیستور را نشان می‌دهد. بطور کلی در حالت نرمال منابع ولتاژ طوری به الکترودهای امیتر و بیس و نیز بیس و کلکتور در مدار بسته می‌شوند که منبع ولتاژ بین امیتر و بیس ولتاژی با بایاس موافق و منبع ولتاژ بین بیس و کلکتور، ولتاژی با بایاس مخالف اعمال می‌کند در این صورت منابع ولتاژ بصورت شکلهای ۳ و ۴ بسته می‌شوند.

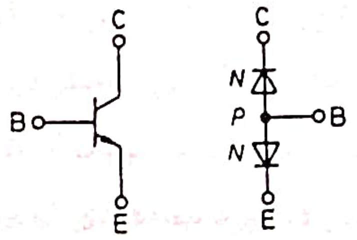
مشخصهٔ اصلی مدار امیتر مشترک آن است که میزان جریان کلکتور I_C که از این مدار عبور می‌کند چندین برابر میزان جریان I_B می‌باشد و در رابطهٔ $\beta = \Delta I_C / \Delta I_B$ که آنرا رابطهٔ جریان در مدار امیتر مشترک می‌نامند، β «ضریب تقویت کنندگی جریان» یا «بهرهٔ جریان» نامیده می‌شود. همچنین می‌توان گفت که بطور دقیق‌تر عملکرد یک ترانزیستور توسط میدان‌های منحنی مشخصهٔ آن قابل توصیف می‌باشد. حال اگر ترانزیستورهای نوع NPN را مشاهده کنیم متوجه می‌شویم که در این نوع ترانزیستورها جهت پیکان امیتر بطرف خارج است در حالیکه در ترانزیستورهای نوع PNP جهت پیکان امیتر بطرف داخل می‌باشد.

حال اگر بخواهیم خصوصیت یک ترانزیستور را بررسی کنیم بطور مثال در یک مدار امیتر مشترک در صورتیکه ولتاژ ورودی بیس - امیتر U_{BE} اعمال شود در آن صورت جریان خروجی همان جریان کلکتور I_C می‌شود که به میزان ولتاژ خروجی

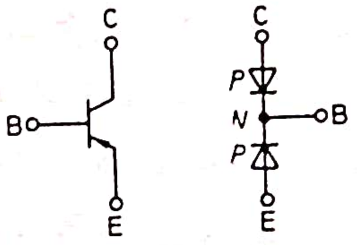
کلکتور – امیتر U_{CE} بستگی دارد. به علت افزایش مرحله‌ای ولتاژ ورودی، روی شکل ۶ میدان منحنی مشخصهٔ خروجی بدست می‌آید و میزان ولتاژ را در جائیکه منحنی مشخصهٔ خمیدگی پیدا می‌کند، ولتاژ اشباع $U_{CE\,sat}$ می‌نامند.

یکی دیگر از خصوصیت ویژه‌ای که روی منحنی مشخصهٔ انتقالی در شکل ۵ مشاهده می‌شود آن است که تغییرات ولتاژ ورودی امیتر – بیس ΔU_{EB} به میزان کم سبب تغییرات نسبتاً زیاد جریان کلکتور ΔI_C می‌گردد به‌طوریکه این تغییر و یا به‌عبارتی دیگر این فاصله روی منحنی مشخصه با زیاد شدن میزان جریان کلکتور شدیداً افزایش می‌یابد.

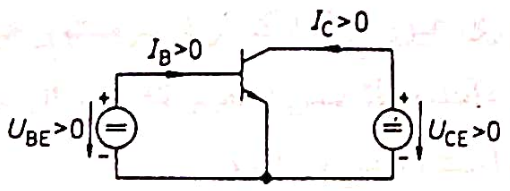
بنابراین در اینجا می‌توان نتیجه گرفت که اگر ولتاژ کلکتور – امیتر U_{CE} به عنوان یک پارامتر متغیر در نظر گرفته شود، در آن صورت میزان جریان کلکتور I_C تابعی از میزان ولتاژ بیس – امیتر U_{BE} می‌شود و همچنین می‌توان به این نکته پی‌برد که منحنی مشخصهٔ انتقالی مانند منحنی مشخصهٔ دیود بصورت تابع نمائی جریان دارد.



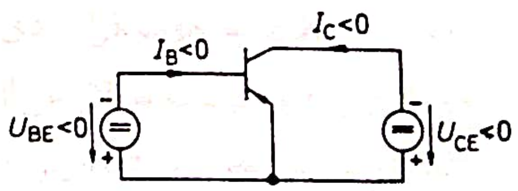
شکل ۱: ترانزیستور NPN با مدار معادل دیود



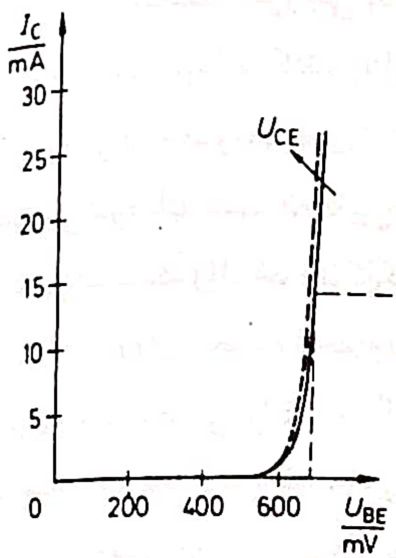
شکل ۲: ترانزیستور PNP با مدار معادل دیود



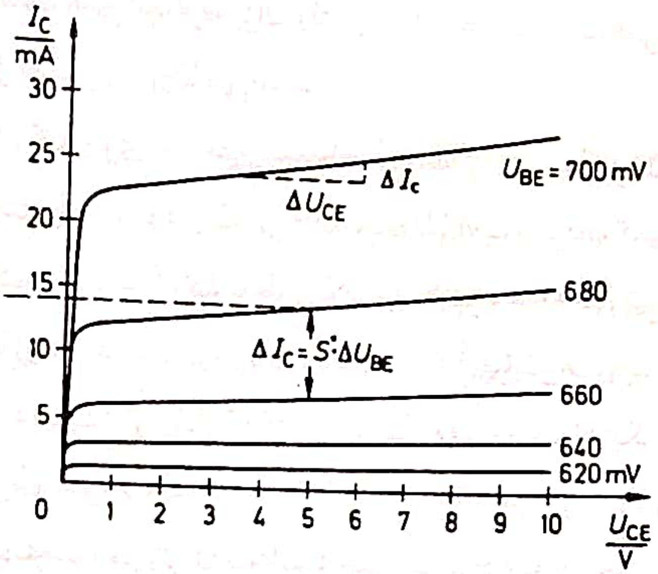
شکل ۳: قطب یک ترانزیستور NPN



شکل ۴: قطب یک ترانزیستور PNP



شکل ۵: منحنی مشخصهٔ انتقالی (NPN)



شکل ٦: میدان منحنی مشخصهٔ خروجی (NPN)

---

*) S = سراشیبی متناسب با قابلیت هدایت موثر G می‌باشد.

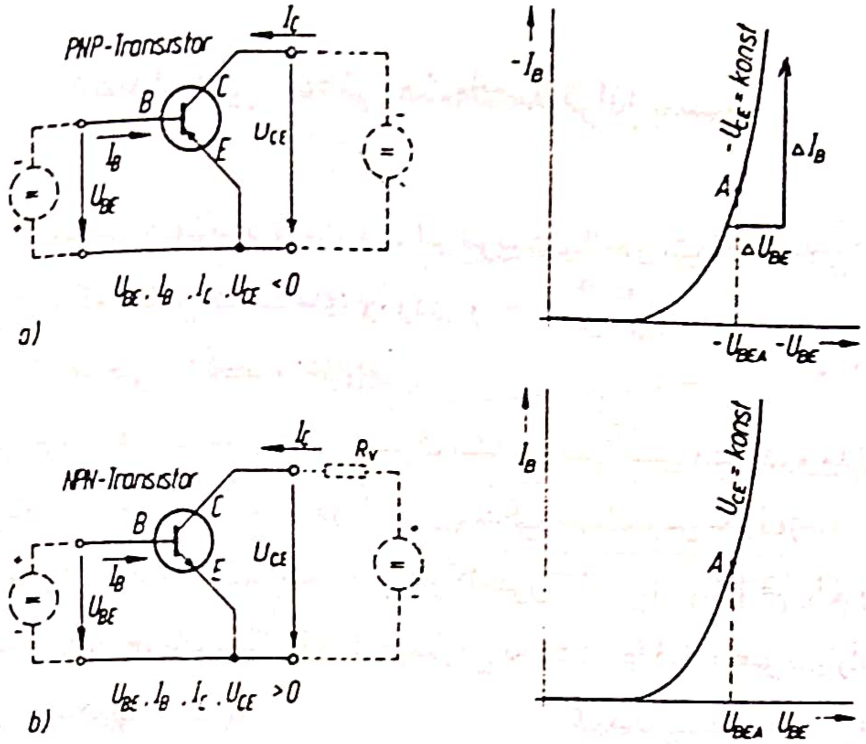
«میدانهای منحنی مشخصهٔ ترانزیستور»

به‌منظور توصیف عملکرد ثابت یک ترانزیستور از دو میدان منحنی مشخصهٔ استفاده می‌شود که شامل کمیت‌های ورودی و خروجی می‌باشند: منحنی مشخصهٔ ورودی و میدان منحنی مشخصهٔ خروجی.

بطور کلی چون اهمیت مدار امیتر مشترک بیشتر از مدار بیس مشترک و مدار کلکتور مشترک می‌باشد به همین علت نیز در اینجا وابستگی جریان بیس به ولتاژ بیس - امیتر $I_B = f(U_{BE})$ و ارتباط جریان کلکتور به ولتاژ کلکتور - امیتر $I_C = f(U_{CE})$ و وابستگی جریان کلکتور I_C به جریان بیس I_B و یا به عبارتی به ولتاژ U_{BE} را به عنوان پارامتر مورد بررسی قرار می‌دهیم.

«منحنی مشخصهٔ ورودی»

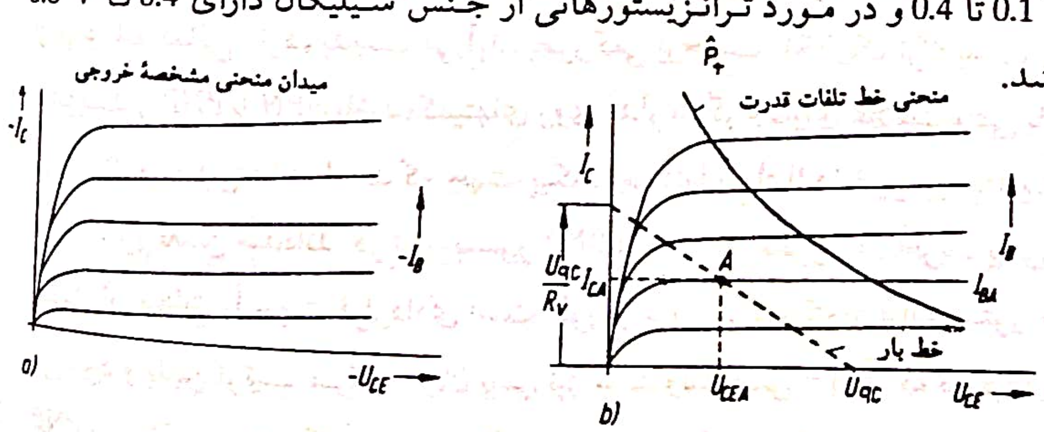
همانطور که مشاهده می‌کنید، روی منحنی مشخصهٔ ورودی ارتباط بین جریان بیس I_B با ولتاژ بیس - امیتر U_{BE} نشان داده می‌شود. از آنجائیکه حلقهٔ بیس - امیتر دیودی را نشان می‌دهد که به آن ولتاژی با بایاس مستقیم اعمال شده است و جریان از آن عبور می‌کند، بنابراین بصورت شکل ۱ منحنی ولتاژ - جریان یک دیود نیمه‌هادی که جریانی از نوع تابع نمائی دارد، بدست می‌آید. بطور کلی برحسب آنکه یک ترانزیستور از نوع ترانزیستور PNP یا NPN باشد، کمیتهای روی مدار دیاگرام دارای علامت منفی یا مثبت می‌شوند و به این علت است که جهت پیکان جریانها و ولتاژها غیر وابسته به نوع ترانزیستور تعیین شده‌اند. در ترانزیستور PNP در شکل ۱ بطور مثال جریان بیس I_B که جهت آن مطابق با جهت قراردادی است طوری عبور می‌کند که از ترانزیستور خارج می‌شود و بدین ترتیب میزان جریان بیس نیز مانند ولتاژ بیس - امیتر که در ترانزیستور PNP برخلاف جهت پیکان امیتر اعمال شده است، منفی می‌شود.



شکل ۱: مدار امیتر مشترک با منحنی مشخصهٔ ورودی

a) ترانزیستور PNP ترانزیستورNPN

منحنی مشخصهٔ ورودی در ترانزیستورهائی از جنس ژرمانیوم و سیلیکان از نظر کیفی دارای جریان منحنی مشابهی هستند بطوریکه از نظر کیفی در مورد ترانزیستورهائی از جنس ژرمانیوم میزان ولتاژ اعمال شده با بایاس مستقیم در نقطهٔ کار تقریباً 0.1 تا 0.4 و در مورد ترانزیستورهائی از جنس سیلیکان دارای 0.4 تا 0.8 V می‌باشد.



شکل ۲: میدانهای منحنی مشخصهٔ خروجی (منحنی کلکتور)

a) ترانزیستور PNP b) ترانزیستور NPN با بار

روی میدان منحنی مشخصهٔ خروجی که آنرا منحنی کلکتور نیز می‌نامند (شکل ۲) در مدار امیتر مشترک وابستگی بین جریان کلکتور I_C به ولتاژ کلکتور - امیتر U_{CE} نشان داده می‌شود. در اینجا ولتاژ بیس - امیتر به عنوان یک پارامتر شناخته نمی‌شود در حالیکه جریان بیس را یک پارامتر می‌نامند زیرا وابستگی بین جریان کلکتور با جریان بیس بطور وسیعی خطی است در حالیکه وابستگی بین جریان کلکتور و ولتاژ بیس شدیداً غیرخطی می‌باشد. در صورت اعمال ولتاژ کلکتور - امیتر U_{CE} به میزان زیاد، جریان کلکتور فقط به میزان کمی تغییر می‌کند و این بستگی به آن دارد که ترانزیستور بالطبع جریان کلکتور را که به میزان بیس بستگی دارد و به عبارتی توسط جریان بیس کنترل می‌شود، به بار تحویل دهد. حال اگر در ساده‌ترین حالت از یک مقاومت اهمی R_V به عنوان بار استفاده شود می‌توان روی میدان منحنی مشخصهٔ خروجی (منحنی کلکتور) با ترسیم «خط بار» مطابق شکل 2b «نقطهٔ کار» مدار ترانزیستور را مشخص کرد.

با ترسیم مختصات نقطهٔ برش خطوط بار با منحنی‌های مشخصهٔ خروجی «نقطهٔ کار» A که به جریان بیس بستگی دارد، بدست می‌آید.

مطابق شکل 2b نقطهٔ کار A باید در زیر منحنی خط تلفات قدرت قرار داشته باشد زیرا در غیر اینصورت اجزاء تشکیل دهندهٔ ترانزیستور به علت بالا بودن درجهٔ حرارت آسیب می‌بینند.

تلفات قدرت در ترانزیستور برابر است با:

$$P_{\frac{\cdot}{\uparrow}} = I_C\,U_{CB} + I_E\,U_{BE} = I_C\,(U_{CB} + U_{BE}) + I_B\,U_{BE}$$

$$\boxed{P_{\frac{\cdot}{\uparrow}} = I_C\,U_{CE} + I_B\,U_{BE}}$$

«اِلمانهای نیمه‌هادی»

علاوه بر هادی‌ها، نیمه‌هادی‌ها نیز دارای مکانیزم هدایت کنندگی می‌باشند. نیمه‌هادی‌ها که میزان مقاومت الکتریکی آنها بین مواد عایق و هادی قرار دارد می‌توانند جریان الکتریکی را در یک جهت از خود عبور دهند در حالیکه در جهت دیگر از عبور جریان جلوگیری می‌کنند که به همین علت نیز آنها را «یکسو ساز» نیز می‌نامند. در حالیکه هادی‌ها در درجهٔ حرارت مطلق (C° 273 -) OK بطور کلی هیچگونه مقاومت الکتریکی نشان نمی‌دهند ولی با افزایش میزان درجهٔ حرارت دارای میزان مقاومت زیادی می‌شوند، مواد نیمه‌هادی در OK بصورت یک عایق یا ایزولاتور عمل می‌کنند و با افزایش میزان درجهٔ حرارات، میزان مقاومت آنها نیز کمتر می‌شود.

اتم‌های یک مادهٔ نیمه‌هادی خالص طوری در اتصال شبکهٔ اتمی بهم متصل می‌باشند که تمام الکترونهای مدار خارجی هر اتم با الکترونهای ظرفیتی اتم‌های دیگر به اشتراک گذاشته می‌شود و به عبارتی اشتراک الکترونها اتصالی را بین دو اتم مجاور بوجود می‌آورد. از آنجائیکه برعکس فلزات (هادی‌ها) تمام الکترونها بهم متصل می‌باشند، در صورتی که اعمال انرژی حرارتی منجر به شکسته شدن اتصال شبکهٔ اتمی آنها نشود، برای انتقال حامل هیچ الکترون آزادی وجود ندارد.

حال اگر به یک نیمه‌هادی انرژی حرارتی بیش از OK اعمال شود در آن صورت با خارج شدن انرژی حرارتی مذکور از اتم‌ها بتدریج پیوندهای اتصالی بین اتم‌ها شکسته می‌شود و الکترونها آزاد می‌گردند و بدین ترتیب هر اتم دارای فضائی خالی از الکترون بنام «حفره» می‌شود که در نتیجه حفرهٔ مذکور یک میدان الکتریکی مثبتی را ایجاد می‌کند و در این حالت است که الکترون مجاور می‌تواند در این فضای خالی پر شود و به همین ترتیب در مکانی که الکترون از اتم مجاور خارج می‌گردد و مجدداً یک حفرهٔ دیگر بوجود می‌آید. به عبارتی در کریستال خالص مادهٔ نیمه‌هادی همیشه الکترونهای آزاد و حفره‌های زیادی به میزان یکسان وجود دارند که با یکدیگر ترکیب می‌شوند و در نتیجه مرتباً جای حفره‌ها تغییر می‌کند که این خود سبب حرکت حفره‌ها در مادهٔ مذکور

می‌گردد.

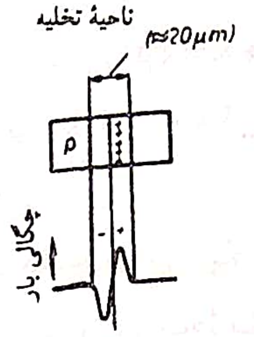
این حرکت حفره‌ها و الکترونها می‌تواند به علت اعمال یک ولتاژ خارجی ایجاد شود بدین صورت که الکترونها بطرف ناحیهٔ کریستال مثبت و حفره‌ها بطرف ناحیهٔ کریستال منفی حرکت می‌کنند.

حال اگر در یک ماده نیمه‌هادی خالص، یک مادهٔ ناخالصی وارد شود که سبب افزایش الکترونها شود در آن صورت مادهٔ ناخالصی را «دهنده» می‌نامند و مادهٔ نیمه‌هادی مذکور را که دارای ازدیاد بارهای منفی متحرک شده است، یک مادهٔ نیمه‌هادی نوع N می‌نامند در حالیکه اگر در یک مادهٔ نیمه‌هادی خالص، یک مادهٔ ناخالصی وارد شود که باعث افزایش تعداد حفره‌ها شود، در آن صورت مادهٔ ناخالصی را «پذیرنده» می‌نامند و مادهٔ نیمه‌هادی مذکور که دارای ازدیاد بارهای مثبت متحرک شده است، یک مادهٔ نیمه‌هادی نوع P نامیده می‌شود.

«اتصال PN»

یک اتصال PN دارای دو لایهٔ نیمه‌هادی می‌باشد که یک لایه از مادهٔ نیمه‌هادی نوع N و لایهٔ دیگر از مادهٔ نیمه‌هادی نوع P تشکیل شده است بطوریکه در بین محل تماس دو لایه، یک لایهٔ مرزی بنام اتصال نیمه‌هادی وجود دارد که خصوصیات فیزیکی عملکرد دیودها و ترانزیستورها بر مبنای آن قرار می‌گیرد.

اگرچه هر دو لایه‌های این دیود از نظر الکتریکی خنثی هستند و دارای تعداد زیادی الکترون و حفره می‌باشند اما در ناحیهٔ P تمرکز بیشتری از حامل‌های متحرک منفی یا الکترون و در ناحیهٔ N تمرکز بیشتری از حامل‌های مثبت یا حفره وجود دارد بطوریکه در اثر حرکت الکترونها و حفره‌ها در نزدیکی اتصال و در نتیجه عمل دیفوزیون، حفره‌ها از ناحیهٔ P بطرف ناحیهٔ N و برعکس الکترونها از ناحیهٔ N بطرف ناحیهٔ P وارد می‌شوند و بدین ترتیب عمل ترکیب حفره‌ها با الکترونها در نزدیکی اتصال صورت می‌گیرد و در نتیجه در محل اتصال نزدیک ناحیهٔ P فقدان حفره و نزدیک ناحیهٔ N فقدان الکترون بوجود می‌آید که با ادامهٔ ورود حفره‌ها از ناحیهٔ P به ناحیهٔ N و ورود الکترونها از ناحیهٔ N به ناحیهٔ P جلوگیری می‌کند (مانند شکل ۱).



شکل ۱: در ناحیهٔ اتصال بین مادهٔ نیمه‌هادی N و مادهٔ نیمه‌هادی P یک میدان الکتریکی بوجود آمده است.

بنابراین در ناحیهٔ تخلیه همهٔ الکترونها و حفره‌های باقیمانده با یکدیگر ترکیب می‌شوند و از نشر دیگر حامل‌هائی که در ناحیهٔ P و ناحیهٔ N وجود دارد در لایهٔ مرزی به علت میدان الکتریکی موجود، جلوگیری می‌شود بطوریکه ادامهٔ مجدد جریان بارهای مثبت و منفی دیگر فقط از طریق یک عامل موثر خارجی مانند اعمال ولتاژ، حرارات و یا نور امکان‌پذیر می‌شود.

«دیودها»

در صورتی که به دو سر یک دیود نیمه‌هادی که یک اتصال PN است، ولتاژی خارجی اعمال شود، برحسب آنکه پلاریتهٔ ولتاژ اعمالی دارای بایاس موافق یا مخالف باشد، به همان نسبت شدت میدان الکتریکی موجود در لایهٔ مسدود تقویت یا تضعیف می‌گردد. حال اگر قطب منفی منبع ولتاژ به قسمت ناحیهٔ N دیود متصل شود، در آن صورت الکترونهای ناحیهٔ N به طرف ناحیهٔ P و حفره‌های ناحیهٔ P بطرف ناحیهٔ N حرکت می‌کنند و بدین ترتیب حفره‌ها با الکترونها ترکیب می‌شوند. بنابراین در این حالت که به دو سر دیود ولتاژ مستقیم اعمال شده است، جریان از دیود عبور می‌کند اما اگر پلاریتهٔ ولتاژ اعمالی به دو سر دیود معکوس گردد، در آن صورت الکترونها به طرف قطب مثبت منبع ولتاژ و حفره‌ها بطرف قطب منفی منبع ولتاژ جذب می‌شوند که در این حالت که به دو سر دیود ولتاژ معکوس اعمال شده است، میزان شدت میدان الکتریکی در لایهٔ مسدود تقویت می‌شود و فقط جریان حامل‌های اقلیت به میزان کمی عبور می‌کند که آنرا «جریان قطع» یا «جریان سد» می‌نامند. در حالیکه میزان ولتاژ معکوس

اعمال شده روی میزان جریان سد تأثیر زیادی ندارد اما میزان جریان سد تا حد زیادی به درجهٔ حرارت دیود بستگی دارد. البته در صورت تجاوز میزان ولتاژ معکوس از حد معینی، میزان جریان سد شدیداً افزایش می‌یابد بطوریکه منجر به ایجاد پدیدهٔ «شکست زنر» یا «اثر زنر» می‌شود.

بطور کلی برحسب نوع مادهٔ بکاررفته در دیودهای نیمه‌هادی، خصوصیات دیودها نیز با یکدیگر متفاوت می‌شود. بطور مثال دیود ژرمانیوم در ناحیهٔ ولتاژ مستقیم دارای مقاومت اهمی بسیار کمی است و فقط برای کار با میزان ولتاژ معکوس و درجه حرارت نسبتاً کمی مناسب می‌باشد در حالیکه برعکس دیودهای سیلیسیومی می‌توانند میزان ولتاژ معکوس و درجهٔ حرارت زیادی را تحمل کنند. میزان جریان سد نیز در دیود سیلیسیوم به مراتب کمتر از میزان جریان سد در دیود ژرمانیوم است.

فصل ششم

پردازش اطلاعات

«فرآیندهای کلیدی در مدار»

بطور کلی مباحث مطرح شده در این بخش از کتاب خارج از موضوعاتی نظیر آن دسته از مدارهای الکتریکی می‌شود که علاوه بر منابع جریان و ولتاژ دارای مقاومت، اندوکتانس و ظرفیت می‌باشند. همچنین این فصل از کتاب به مبحث‌هائی مانند ترانزیستورها و لامپهای الکترونی‌ای که بصورت کنترل تدریجی کار می‌کنند نیز نمی‌پردازد و فقط آن دسته از ترانزیستورها را شامل می‌گردد که باعث عمل قطع و وصل کلید در مدار (عمل سوئیچینگ) می‌شوند.

اکنون نخست مبحث این بخش از کتاب را با در نظر گرفتن این موضوع آغاز می‌کنیم که منابع، ولتاژها و جریانهای ثابتی را تحویل می‌دهند. اگر این فرم از تحریک برای مدت زمان کافی درنظر گرفته شود در آن صورت در مدار یک وضعیت متعادل بدین صورت تحقق می‌یابد که کلیهٔ ولتاژها و جریانهائی که در یکایک شاخه‌ها در مدار وجود دارند یک شکل می‌شوند و بدین ترتیب در صورتی که منابع، توابع زمانی را به‌صورت پریودیک تحویل دهند، بطور مشابه یک وضعیت متعادل قابل توصیف می‌گردد. یک فرآیند انتقالی یا یک فرآیند کلیدی که در عملکرد مدار مانند یک کلید می‌باشد، در صورتی بوجود می‌آید که حداقل یکی از منابع، تابع زمانی خود را خارج از جریانی که سابق بر این داشته است تغییر دهد. این عمل ساده می‌تواند به علت یک تغییر حالت ناگهانی تحقق یابد بدین ترتیب که بطور مثال مربوط به افزایش ولتاژ ثابت یک منبع یا دامنه یا فرکانس ولتاژ سینوسی یک منبع باشد.

همچنین تغییرات ضربانی به آن مفهوم که یک منبع فقط بطور کوتاه مدت مقادیرش را تغییر می‌دهد می‌تواند به عنوان یک فرآیند کلیدی تلقی شود. به این ترتیب که ولتاژها و جریانها در مدار تحت تأثیر یک چنین تغییری از یک وضعیت متعادل به یک وضعیت متعادل دیگر تغییر کنند یا در هنگام تحریک ضربانی در صورت مهیابودن شرایط مشخص پس از انحرافی گذرا به وضعیت اولیه باز گردد. این فرآیندهای کلیدی که در اینجا شرح مختصری از آن توصیف شد در زمینهٔ «پردازش اطلاعات» به دلایل مختلفی

حائز اهمیت می‌باشد:

۱ - از آنجائیکه یک اطلاعات می‌تواند به علت یک تغییر وضعیت موجود به صورت یک تابع زمانی توصیف شود در نتیجه یک نمایش الکتریکی نشان می‌دهد که تغییرات ولتاژ یا جریان قابل پیش‌بینی نمی‌باشد بطوریکه این تغییرات عامل تحقق اطلاعات می‌شوند.

نمایش الکتریکی اطلاعاتی که به‌منظور پردازش به روش الکتریکی صورت می‌گیرد هر دفعه منجر به فرآیندهای کلیدی در مدار می‌گردد.

۲ - این نمایشهای الکتریکی اطلاعات در هنگام انتقال در مدارهای الکتریکی بطور کلی تغییر شکل می‌یابند که البته در بسیاری از حالتها سبب تأثیرات ناخواسته‌ای می‌شود. بنابراین صدق می‌کند که با استفاده از ایجاد تغییرات مناسب در مدار اثرات این اعوجاج از بین برده شود و یا حتی‌الامکان در حد کمی نگه داشته شود.

علائم علائم	بطور کلی خبرها را می‌توان توسط علائم گفتاری مانند حروف الفبا نمایش داد که به همین علت حروف الفبا به عنوان محسوب می‌شوند. البته خبرها توسط علائم غیر گفتاری نیز نمایش داده می‌شوند که بطورمثال اعداد جزء علائم غیر گفتاری بشمار می‌روند. از جمله دیگر سمبلهائی مانند سمبل‌های مداری را نیز می‌توان نام برد. بنابراین علائم می‌توانند توسط کمیتهای فیزیکی نشان داده شوند که در این حالت آنها را «سیگنال» می‌نامند.
سیگنالها علائم ـ سیگنالها	که حامل علائم هستند باید از نظر فیزیکی قابل تشخیص از یکدیگر باشند تا گیرنده بتواند توسط آنها علائم مختلفی را دریافت کند. بنابراین اطلاعات که در واقع از و بوجود می‌آید، می‌تواند بصورت یک سیستم درآورده شود.
بله اعشاری	بطور کلی تعداد محدودی از علامات مجزا و متمایز مربوط به یک نوع مشخص بطور مثال حروف الفبای لاتین می‌تواند یک سیستمی از علامات محسوب شود. اما آیا بطور مثال تعدادی از اعداد اعشاری M={0,1,2,3,4,5,6,7,8,9} نیز یک سیستم می‌باشد؟ بله یا خیر؟ البته علاوه بر سیستم سیستم دیگری نیز وجود دارد که آنرا فقط با دو علامت نشان می‌دهند. این ارقام اعشاری را که می‌توان فقط در سیستم دیجیتال بصورت دو رقم 0 و 1 نمایش داد، «اعداد باینری» می‌نامند و

سیستم مربوط به آن نیز «سیستم باینری» نامیده می‌شود.	
بنابراین هر یک از دو علامت 0 و 1 که جزء ارقام این سیستم محسوب می‌شود، یک رقم باینری نامیده می‌شود. یک رقم باینری را بصورت مختصر یک «بیت»(Bit) نیز می‌نامند. همچنین دو رقم سیستم باینری { 0,1 } را که از دو بیت 0 و 1 تشکیل شده است، ارقام دودوئی با ارقام دوتائی (دو آل) می‌نامند.	باینری
به عنوان یک علامت مشخص در سیستم اعداد باینری می‌توان از علامت { L,O } استفاده کرد که O و L هر کدام یک «بیت» نامیده می‌شوند. بنابراین O را یک و L را نیز یک می‌نامند. همچنین H و L نیز هر کدام یک بیت هستند بطوریکه H می‌تواند بجای 1 (H = 1) و L بجای O (L = 0) قرار گیرد. این سیستم باینری {H,L} می‌تواند جانشین مقادیر ولتاژ شود بطوریکه اعداد این سیستم باینری را می‌توان با کم و زیاد کردن مقدار ولتاژ در مدار نمایش داد. L در سیستم {H,L} به‌معنای ولتاژپایین (Low) است یعنی ولتاژ نزدیک به $-\infty$ قراردارد و H به‌معنای ولتاژ بالا (High) می‌باشد یعنی میزان ولتاژ نزدیک به $+\infty$ است.	بیت ـ بیت باینری
یک سری از علامات که در ترکیب مشخصی به صورت یک واحد نشان داده می‌شوند به عنوان حروفی محسوب می‌شوند که می‌توانند یک سیستم را تشکیل دهند.	

بنابراین یک حرف می‌تواند علامت یا یک سری از علاماتی باشد که در یک ترکیب مشخص، یک واحد را بوجود می‌آورد.
در صورتی که $n \geqq 1$ و یک عدد صحیح باشد، یک حرف می‌تواند از n بیت تشکیل شود.
حروفی که بکمک یک سیستم باینری تشکیل می‌شود، «حروف باینری» می‌نامند.

یک سیستم می‌تواند به سیستم دیگری تبدیل شود بطوریکه به‌منظور نمایش تبدیل علامات یک سیستم به سیستم دیگر از «کُد» استفاده می‌شود. بطور مثال سیستم اعداد اعشاری را می‌توان بصورت سیستم اعداد باینری نمایش داد.

حروف

a	·····	n	·-··
ä	· ··· ·	o	· --
b	·· ···	ö	---·
c	- ·· ·	p	·· ·· ·
ch	-- - · ·	q	·· --- -
d	- ··	r	·· ·
e	·	s	···
f	·· - ·	t	·
g	- ·	u	···
h	····	ü	·· - -
i	··	v	···
j	···	w	· ···
k	- ···	x	- ···
l	· ···	y	· ·--
m	· ·	z	- ··

اعداد

1	·----
2	··---
3	···--
4	····-
5	·····
6	-····
7	--···
8	---··
9	····---·
0	·-----

آیا علامات بالا یک کد را نشان می‌دهند؟ بله یا خیر؟

بله

علامات بالا «کُد مُرس» را نشان می‌دهند.

در مرس حروف الفبابصورت یک سیستم باینری بطور منظم قرار گرفته‌اند که در واقع جزء کدهای الفبائی محسوب

کد

می‌شود.

کد مرس نیز یک کد باینری است.

a	· –	n	– ·	1	· – – – –
ä	· – · –	o	– – –	2	· · – – –
b	– · · ·	ö	– – – ·	3	· · · – –
c	– · – ·	p	· – – ·	4	· · · · –
ch	– – – –	q	– – · –	5	· · · · ·
d	– · ·	r	· – ·	6	– · · · ·
e	·	s	· · ·	7	– – · · ·
f	· · – ·	t	–	8	– – – · ·
g	– – ·	u	· · –	9	– – – – ·
h	· · · ·	ü	· · – –	0	– – – – –
i	· ·	v	· · · –		
j	· – – –	w	· – –		
k	– · –	x	– · · –		
l	· – · ·	y	– · – –		
m	– –	z	– – · ·		

کد مرس یک   است.   کد باینری

یک   کدی است که در آن هر «حرف» یک «حرف   کد باینری

باینری» نامیده می‌شود مثلاً حرف a می‌تواندبصورت یک حرف باینری نشان داده شود.

همچنین اعداد نیز توسط حروف باینری نمایش داده می‌شود و به عبارتی اعداد و حروف را می‌توان بصورت کد نمایش داد.

کد باینری

اعداد اعشاری	ارقام دودوئی (دو آل)	کدگری گری	کد سه‌افزا	کد سه‌افزای گری	کد 2421	کد دو پنج‌تائی	کد دهدهی	کد 2 از 5
0	OOOO	OOOO	OOLL	OOLO	OOOO	OOOOOL	OOOOOOOOOL	LLOOO
1	OOOL	OOOL	OLOO	OLLO	OOOL	OOOOLO	OOOOOOOOLO	OOOLL
2	OOLO	OOLL	OLOL	OLLL	OOLO	OOOLOO	OOOOOOOLOO	OOLOL
3	OOLL	OOLO	OLLO	OLOL	OOLL	OOLOOO	OOOOOOLOOO	OOLLO
4	OLOO	OLLO	OLLL	OLOO	OLOO	OLOOOO	OOOOOLOOOO	OLOOL
5	OLOL	OLLL	LOOO	LLOO	LOLL	LOOOOL	OOOOLOOOOO	OLOLO
6	OLLO	OLOL	LOOL	LLOL	LLOO	LOOOLO	OOOLOOOOOO	OLLOO
7	OLLL	OLOO	LOLO	LLLL	LLOL	LOOLOO	OOLOOOOOOO	LOOOL
8	LOOO	LLOO	LOLL	LLLO	LLLO	LOLOOO	OLOOOOOOOO	LOOLO
9	LOOL	LLOL	LLOO	LOLO	LLLL	LLOOOO	LOOOOOOOOO	LOLOO
1	8421	15731			2421	543210	9876543210	74210

ارزش‌ها برای ارقام کد

کدبندی

همانطور که در شکل بالا مشاهده می‌شود اعداد بطور جداگانه کد شده‌اند.

این بدان معناست که علامت یک سیستم به علامات سیستم دیگری تبدیل می‌شود.

کدهائی که دراینجا نشان داده شده است، کدهای باینری هستند.

ارقام دو دوئی (دو آل)							اعداد اعشاری		
	2^0	2^1	2^2	2^3	2		10^0	10^1	
0	0	0	0	0	0	↔	0	0	0
L	1	0	0	0	0	↔	1	0	1
LO	0	1	0	0	0	↔	2	0	2
LL	1	1	0	0	0	↔	3	0	3
LOO	0	0	1	0	0	↔	4	0	4
LOL	1	0	1	0	0	↔	5	0	5
LLO	0	1	1	0	0	↔	6	0	6
LLL	1	1	1	0	0	↔	7	0	7
LOOO	0	0	0	1	0	↔	8	0	8
LOOL	1	0	0	1	0	↔	9	0	9
LOLO	0	1	0	1	0	↔	0	1	10
LOLL	1	1	0	1	0	↔	1	1	11
LLOO	0	0	1	1	0	↔	2	1	12
LLOL	1	0	1	1	0	↔	3	1	13
LLLO	0	1	1	1	0	↔	4	1	14
LLLL	1	1	1	1	0	↔	5	1	15
LOOOO	0	0	0	0	1	↔	6	1	16
LOOOL	1	0	0	0	1	↔	7	1	17
LOOLO	0	1	0	0	1	↔	8	1	18
LOOLL	1	1	0	0	1	↔	9	1	19
LOLOO	0	0	1	0	1	↔	0	2	20
LOLOL	1	0	1	0	1	↔	1	2	21
LOLLO	0	1	1	0	1	↔	2	2	22
LOLLL	1	1	1	0	1	↔	3	2	23
LLOOO	0	0	0	1	1	↔	4	2	24

در این جدول در سمت چپ جدول نمایشی از سیستم اعداد اعشاری و در سمت راست سیستم دو تائی یا دو دوئی (دو آل) نشان داده می‌شود.

دو دوئی

سیستم از ارقام دو تائی O/0 و L/1 تشکیل شده است.

در سیستم باینری پایه یا مبنا بر اساس ۲ می‌باشد در حالی‌که در سیستم اعشاری مبنا یا پایه براساس ۱۰ انتخاب می‌شود.

همانطور که در جدول مشاهده می‌شود مقدار رقم باتوجه به‌آرایش ارقام دو دوئی در مکانهای مشخص تعیین می‌شود.

بنابراین معتبر است:

	2^2	2^1	2^0
$3 \leftrightarrow$	0	1	1
$5 \leftrightarrow$	1	O	1

به‌منظور تفکیک و متمایز کردن ارقام دو دوئی از ارقام دهدهی اغلب به‌جای 0 و 1 از علامت‌های O و L استفاده می‌گردد.

کد باینری

اعداد اعشاری	ارقام دودوئی (دو آل)	کد گری	کد سه‌افزا	کد سه‌افزای گری	کد 2421	کددو دو پنج‌تائی	کد دهدهی	کد 2 از 5
0	OOOO	OOOO	OOLL	OOLO	OOOO	OOOOOL	OOOOOOOOOL	LLOOO
1	OOOL	OOOL	OLOO	OLLO	OOOL	OOOOLO	OOOOOOOOLO	OOOLL
2	OOLO	OOLL	OLOL	OLLL	OOLO	OOOLOO	OOOOOOOLOO	OOLOL
3	OOLL	OOLO	OLLO	OLOL	OOLL	OOLOOO	OOOOOOLOOO	OOLLO
4	OLOO	OLLO	OLLL	OLOO	OLOO	OLOOOO	OOOOOLOOOO	OLOOL
5	OLOL	OLLL	LOOO	LLOO	LOLL	LOOOOL	OOOOLOOOOO	OLOLO
6	OLLO	OLOL	LOOL	LLOL	LLOO	LOOOLO	OOOLOOOOOO	OLLOO
7	OLLL	OLOO	LOLO	LLLL	LLOL	LOOLOO	OOLOOOOOOO	LOOOL
8	LOOO	LLOO	LOLL	LLLO	LLLO	LOLOOO	OLOOOOOOOO	LOOLO
9	LOOL	LLOL	LLOO	LOLO	LLLL	LLOOOO	LOOOOOOOOO	LOLOO
1	8421	15731			2421	543210	9876543210	74210

ارزش‌ها برای ارقام کد

کدبندی

در جدول بالا که کدهای باینری نشان داده می‌شود، ارقام شده‌اند.

کدبندی

در مورد اعداد اعشاری که دارای بیش از یک ارزش مکانی هستند، طبق قاعده یکایک ارقام اعشاری به‌طور مجزا می‌شوند. به‌عبارتی هر یک از ارقام اعشاری به‌طور مجزا کد می‌شوند و در مورد کد هر رقم از ۴ بیت استفاده می‌گردد. بنابراین اگر ۴ = n بیت باشد در آن صورت کد چهار بیتی است.

چهاربیتی

به‌طور کلی با n بیت می‌توان $N = 2^n$ ترکیب مختلف از O و L ساخت.

به‌طور مثال اگر ۴ = n باشد، کد است و N برابر ۱۶ می‌شود.

بنابراین در یک کد چهار بیتی امکان تشکیل ۱۶ حرف کد وجود دارد. حال اگر بخواهیم در یک کد چهار بیتی کلیهٔ ۱۶ حرف کد را به کار ببریم در آن صورت از آنجائی‌که در سیستم اعشاری فقط ده رقم از ۰ تا ۹ وجود دارد به‌همین علت فقط ده رقم را می‌توان کد کرد و به منظور نمایش ارقام دیگر باید از حروف A تا F استفاده شود.	چهار بیتی

D C B A	D C B A	D C B A	D C B A	D C B A
8 4 2 1 ارزشـــــها برای ارقام کد	8 4 2 1	2 4 2 1		
0 LLLL	0 LLLL	0 LLLL		0 LLLL
1 LLLH	1 LLLH	1 LLLH		1 LLLH
2 LLHL	2 LLHL	2 LLHL		3 LLHL
3 LLHH	3 LLHH	3 LLHH	0 LLHH	2 LLHH
4 LHLL	4 LHLL	4 LHLL	1 LHLL	7 LHLL
5 LHLH	5 LHLH		2 LHLH	6 LHLH
6 LHHL	6 LHHL		3 LHHL	4 LHHL
7 LHHH	7 LHHH		4 LHHH	5 LHHH
--------		-------	-------	
8 HLLL	8 HLLL		5 HLLL	
9 HLLH	9 HLLH		6 HLLH	
10HLHL			7 HLHL	
11HLHH		5 HLHH	8 HLHH	
12HHLL		6 HHLL	9 HHLL	8 HHLL
13HHLH		7 HHLH		9 HHLH
14HHHL		8 HHHL		
15HHHH		9 HHHH		
سیستم دودوئی (دو آل)	کد باینری B C D	کد 2421	کد افزونی ـ ۳	کد گری

آیا مطابق جدول بالا کد باینری BCD ، کد 2421 ، کد افزونی ـ ۳ و کد گری دارای ۱۶ ترکیب می‌باشد؟ بله یا خیر؟ خیر

در این کدهای چهار بیتی از ۱۶ حرف باینری استفاده نمی‌شود و فقط ۱۰ حرف باینری از ۰ تا ۹ بکار می‌رود. همچنین در این کدها تمام $N = 2^n$ حرف باینری مورد استفاده قرار نمی‌گیرد در حالی‌که سیستم دو دوئی که از ۱۶ حرف باینری استفاده می‌شود تمام $N = 2^n$ حرف باینری بکار می‌رود.

اعداد اعشاری	کد 1 از 10
0	OOOOOOOOOL
1	OOOOOOOOLO
2	OOOOOOOLOO
3	OOOOOOLOOO
4	OOOOOLOOOO
5	OOOOLOOOOO
6	OOOLOOOOOO
7	OOLOOOOOOO
8	OLOOOOOOOO
9	LOOOOOOOOO
1	9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 ارزشها برای ارقام کد

آیا جدول بالا یک کد چهار بیتی را نشان می‌دهد؟ بله یا خیر؟

خیر

کد مربوط به جدول بالا یک .... نیست زیرا n = 4 نمی‌باشد بلکه n = 10 است.

کد چهاربیتی

در اعداد باینری مذکور .... L فقط در هر ترکیب یکبار تکرار می‌شود.

حرف باینری

بنابراین چنین کدی که در آن ده رقم دهدهی با ده بیت نشان داده می‌شود و از نه تا ۰ و یک ۱ تشکیل می‌گردد، «کد ۱ از ۱۰» یا کددهدهی نامیده می‌شود.

اعداد اعشاری	کد 1 از 5
0	LLOOO
1	OOOLL
2	OOLOL
3	OOLLO
4	OLOOL
5	OLOLO
6	OLLOO
7	LOOOL
8	LOOLO
9	LOLOO
1	4 7 2 1 0 ارزشها برای ارقام کد

آیا کد مربوط به جدول بالا یک کد دهدهی را نشان می‌دهد؟

بله یا خیر؟ | خیر

کد مذکور کد نیست زیرا در کد از ۱۰ | 1 از 10 ـ 1 از 10

بیت استفاده می‌گردد به‌طوری‌که در هر عدد باینری 1 بیت آن L

می‌باشد. (1bit = L) در حالی که کد مذکور از بیت | 2 - 5

تشکیل شده است و در هر عدد باینری بیت آن L است

(2Bit=L)

بنابراین چنین کدی را «کد 2 از 5» می‌نامند.

کد 1 از 10 و کد کدهای چهار بیتی نیستند و از آنها | 2 از 5

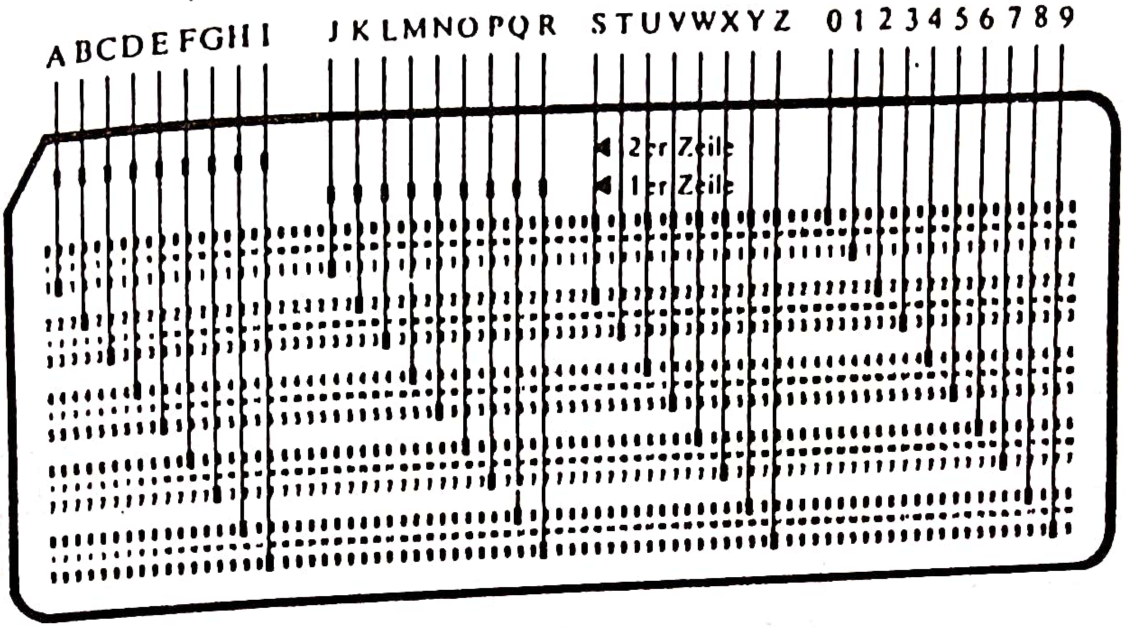
به‌منظور کد کردن ارقام اعشاری استفاده می‌گردد.

همچنین کدی وجود دارد که در آن از علائم و حروف الفبا

استفاده می‌گردد که چنین کدی را «کد الفبای عددی» می‌نامند.

به‌طور مثال کد مرس یک کد محسوب می‌شود

زیرا علائم وحروف الفبا را نمایش می‌دهد.



الفبای عددی	در اینجا تصویری از یک کارت پانچ نشان داده می‌شد. به‌کمک کارت پانچ می‌توان حروف الفبا و اعداد را کد کرد. بنابراین در کارت پانچ از کد .... استفاده می‌گردد.

کد

یک کد علامات یک سیستم را به‌صورت علامات سیستم دیگری نمایش می‌دهد و در واقع سیستمی ار حروف، علامات و یا اعداد را به صورت سیستم دیگری تبدیل می‌کند به‌طوری که به‌طور مثال می‌توان از سمبل‌های مختلفی به‌منظور نمایش حروف الفبا و اعداد استفاده گردد.

سمبل‌ها : Δ + × □

حروف الفبا : a b c d

در سیستم دیجیتال برای نمایش اعداد فقط از دو علامت 0 و 1 استفاده می‌شود که هر یک از این رقم‌های 0 و 1 را یک بیت می‌نامند که البته در صورت به‌کار بردن هر دو بیت 0 و 1 در سیستم باینری، سیستم وسیعی با ترکیبات مختلفی بدست می‌آید.

به‌طور مثال به‌صورت زیر می‌توان علامات را کد کرد:

Δ	+	×	□
00	01	10	11

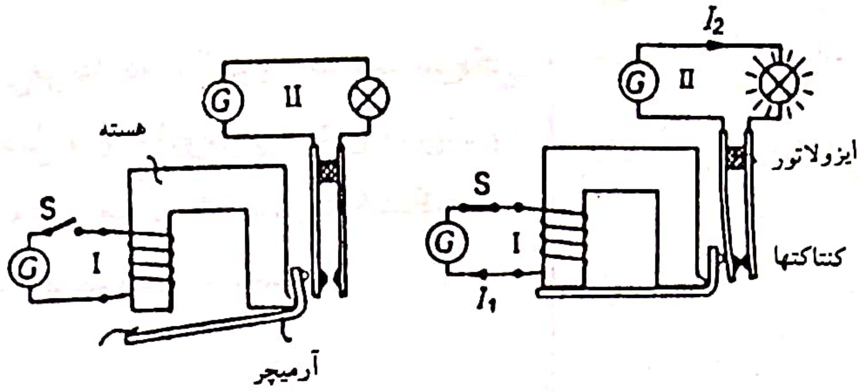
حال اگر ترکیبی از تعدادی علامت را بخواهیم نمایش دهیم، می‌توان از حرف کد استفاده کرد و بدین ترتیب هر یک از چهار حرف باینری را به‌صورت کد دوبیتی (ترکیبات بیتی 00، 01، 10 ، 11) نمایش داد.

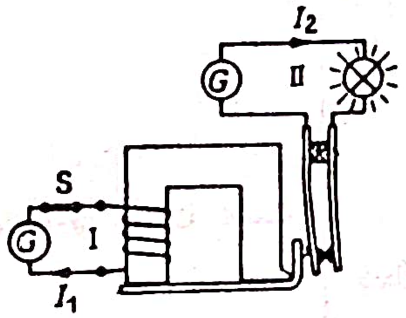
البته کدهای مختلف دیگری نیز وجود دارند که از جمله کد مرس را می‌توا ن نام برد. با تعداذ n بیت یا به‌عبارتی n رقم دو تائی در مبنای 2 می‌توان $N = 2^n$ ترکیب مختلف از 0 و 1 را بدست آورد.

به‌طور کلی یا می‌توان از تمام $N = 2^n$ حرف باینری یا کمتر

	در یک کد استفاده کرد یعنی یا هر ۱۶ حرف باینری یا کمتر از ۱۶ حرف در یک کد به‌کار رود.

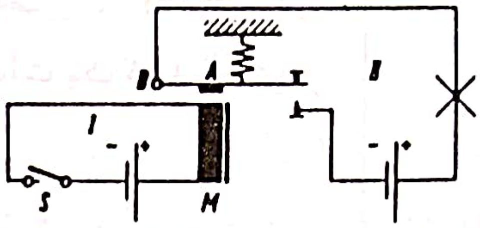
علائم باینری O و L می‌توانند دو حالت یا وضعیت فیزیکی را در مدار مانند قطع و وصل و یا خاموش و روشن جریان یا ولتاژ مشخص سازند و به‌طور مثال با وضعیت کنتاکت که می‌تواند باز یا بسته باشد، مطابقت داشته باشند.	
در اینجا دو حالت نشان داده می‌شود. در سمت چپ مدار کنتاکت بسته است و در سمت راست مدار باز می‌باشد. کنتاکت‌های مکانیکی می‌توانند مستقیماً توسط دست انسان باز یا بسته شوند.	کنتاکت
بنابراین یک مدار جریان متصل به می‌تواند باز یا بسته شود. کنتاکت‌های مکانیکی همچنین می‌توانند به طور غیرمستقیم باز یا بسته شوند. مدار جریان II که از یک سیم‌پیچ با هستهٔ آهنی، آرمیچر و کنتاکت‌هائی تشکیل شده است می‌تواند توسط یک کلید باز یا بسته شود که چنین کلیدی را «رله» نیز می‌نامند.	کنتاکت‌های مکانیکی





در شکل بالا تصویر شماتیک یک .... نشان داده می‌شود. | رله
یک رله می‌تواند مانند یک .... عمل کند. | کلید
اگر جریان معین I_1 از سیم‌پیچ تحریک عبور کند در آن صورت میدان مغناطیسی ایجاد شده، آرمیچر رله را به طرف خود می‌کشد و در نتیجه در اثر این عمل .... با هم تماس برقرار می‌کنند که در این حالت مدار جریان II بسته می‌باشد. | کنتاکت‌ها
بنابراین مدار جریان II با استفاده از .... توسط مدار جریان I کنترل می‌شود. | رله

مدار جریان I را «مدار فرمان» یا «مدار کنترل» و مدار جریان II را «مدار قدرت» می‌نامند.



در اینجا دیاگرام یک .... نشان داده می‌شود.

در این حالت رله به صورت یک کلیدی عمل می‌کند که به‌کمک آن مدار قدرت کنترل می‌شود.

بنابراین با یک رله می‌توان جریان در یک مدار .... را قطع و وصل کرد.

جریان در یک مدار می‌تواند با یک کنتاکت قطع و وصل شود.

رله و کلیدهای مکانیکی دیگر را «کنتاکتور» نیز می‌نامند.

جریان در مدار قدرت همچنین می‌تواند توسط یک ترانزیستور قطع یا وصل شود که در این حالت ترانزیستور به عنوان یک کلید بدون کنتاکت عمل می‌کند.

رله

قدرت

یک دیود می‌تواند به منظور قطع و وصل مدار جریان مورد استفاده قرار گیرد.

آیا در این حالت نیز یک دیود یک کنتاکتور است؟ بله یا خیر؟

یک دیود یک‌کنتاکتورنیست زیرایک .... دارای قطعاتی به‌نام کنتاکت می‌باشد که در صورت باز بودن مدار از یکدیگر فاصله می‌گیرد و در صورت بسته بودن مدار با هم تماس بر قرار می‌کند.

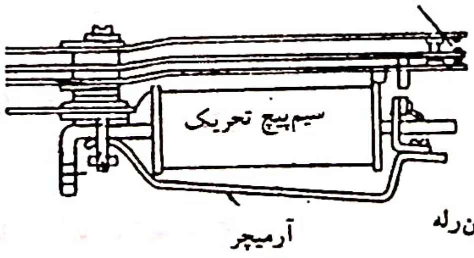
خیر

کنتاکتور

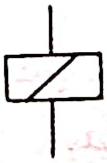
بنابراین در صورتی که از یک دیود به‌منظور قطع و وصل مدار جریان استفاده شود، دیود به‌صورت یک کلید بدون کنتاکت عمل می‌کند که در این حالت یک کلید الکترونی محسوب می‌شود.

رله

رله که یک الکتریکی قابل کنترل است و به کمک آن مدار جریان باز یا بسته می‌شود، این امکان را فراهم می‌سازد که با میزا ن توان کنترل شدهٔ کمی، توان زیادی در مدار بدست آید. قسمت بیشتر تمام رله‌ها براساس پدیدهٔ الکترو مغناطیسی کار می‌کند به‌طوری که براثر تحریک سیم‌پیچ رله و حرکت آرمیچر و در واقع براثر فرآیند کلیدی، کنتاکت‌های مکانیکی باز یا بسته می‌شوند.	کلید
مدار مربوط به یک رلهٔ مغناطیسی از هسته، یوغ، آرمیچر و یک فاصلهٔ هوائی بین هسته و آرمیچر تشکیل شده است و نیز سیم‌پیچی را که هستهٔ رله را در بر می‌گیرد، شامل می‌گردد. همچنین مدار مغناطیسی مذکور از فنر کنتاکت که توسط آرمیچر رله کار می‌کند، تشکیل می‌گردد.	مغناطیسی



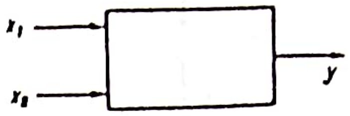
شکل ۱: رله



شکل ۲: علامت سمبل مداری بوبین رله

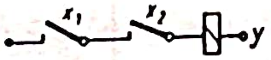
به‌علت تحریک سیم‌پیچ رله با جریان کنترل که میزان آن به‌اندازهٔ کافی زیاد می‌باشد، آرمیچر به دلیل فشار مغناطیسی به‌وجود آمده توسط جذب می‌شود و در نتیجه	هسته

کنتاکت‌های الکتریکی - آرمیچر	باز یا بسته می‌گردند. حال اگر جریان قطع شود، مجدداً به‌جای خود بر می‌گردد. در صورتی که A_{Lu} سطح مقطع فاصلهٔ هوائی باشد، نیروی کششی که روی آرمیچر اعمال می‌شود مانند نیروی الکترومغناطیسی از رابطهٔ زیر پیروی می‌کند: $$F = \frac{\Phi^2}{2\mu_\circ A_{Lu}} = \frac{B^2 A_{Lu}}{2\mu_\circ}$$ و در مورد شار مغناطیسی نیز رابطهٔ زیر معتبر می‌باشد: $$\Phi = \frac{MMF}{R\mu} = \frac{IN}{R\mu F_e + R\mu_{Lu}}$$



در شکل بالا تصویر یک بلوک دیاگرام نشان داده می‌شود.
Y می‌تواند به‌عنوان یک سیگنال برای تحریک یک رله محسوب شود و رله در صورتی تحریک می‌شود که کنتاکت‌های X_1 و X_2 به‌طور مثال بسته باشند که در این صورت Y به X_1 و X_2 وابستگی دارد.

Y را متغیر خروجی می‌نامند و X_1 و X_2 نیز هر یک، متغیرهای ورودی نامیده می‌شوند.



در نمودار مدار منطقی بالا Y .... ، X_1 .... و X_2 .... دیگر است.

متغیرخروجی ـ متغیر ورودی ـ متغیر ورودی

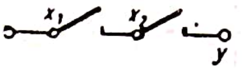
هر یک از متغیرهای X_1 و X_2 را یک متغیر باینری یا دو دوئی می‌نامند.

متغیرهای X و Y که .... هستند می‌توانند فقط دارای یکی از دو مقدار 0 و 1 باشند.

متغیرهای باینری

Y به .... X_1 و X_2 بستگی دارد که این وابستگی می‌تواند به صورت یک «تابع» نشان داده شود.

متغیر باینری ـ متغیر باینری



X_1	X_2	Y
0	0	0
0	L	0
L	0	0
L	L	L

متغیر خروجی

همانطورکه در شکل بالا نشان داده می‌شود، Y به متغیرهای X_1 و X_2 بستگی دارد. متغیرهای دو دوئی X_1 و X_2 که متغیرهای باینری هستند، می‌توانند یک تابع باینری را به‌وجود آورند و به‌عبارتی این متغیرهای تابع می‌توانند تابعی را تشکیل دهند که آنرا «تابع بول» می‌نامند.

همانطورکه در تصاویر بالا ملاحظه می‌شود در سمت راست «جدول درستی» و در سمت چپ مدار مربوط به تابع بول نشان داده می‌شود.

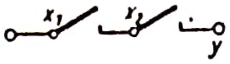
جدول درستی

در واقع مبین چهار امکان مربوط به‌سیگنال‌های ورودی و خروجی یک گیت می‌باشد که با علامت سیگنال‌های O و L نشان داده می‌شوند.

در اینجا یک مدار کنتاکت می‌تواند چهار حالت را نشان بدهد به‌طوری‌که فقط در یک حالت آن Y می‌تواند برابر علامت سیگنال L باشد که مبیّن رقم 1 باینری است. در اینحالت اگر در یک گیت هر دو متغیرهای ورودی X_1 و X_2 دارای علامت سیگنال L باشند، در آن صورت متغیر خروجی Y نیز دارای علامت سیگنال L می‌شود. به‌عبارتی دیگر اگر هر دو ورودی‌ها یک باشند خروجی یک می‌شود در حالی‌که اگر فقط یکی از ورودی‌ها یک باشد، خروجی صفر می‌شود.

بنابراین اگر در یک گیت که دارای دو متغیر ورودی X_1 و X_2 و یک متغیر خروجی Y است، هر دو ورودی‌ها یک باشد، خروجی نیز یک می‌شود که در این حالت گیت مذکور را «گیت

AND» می‌نامند.



x_1	x_2	y
0	0	0
0	L	0
L	0	0
L	L	L

در اینجا جدول درستی (جدول ترکیب‌ها) و مدار مربوط به‌تابع بول ـ باینری که یک مدار گیت AND است، نشان داده می‌شود.

طرح مدار شکل سمت چپ و همچنین جدول درستی در شکل سمت راست عملکرد را نشان می‌دهند که در این حالت متغیر Y فقط در صورتی برابر سیگنال L است که X_1 و X_2 هر دو دارای سیگنال L باشند.

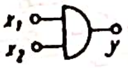
بنابراین معتبر است:

$$Y = X_1 \wedge X_2$$

علامت $\wedge$ معادل علامت & می‌باشد و تابع مذکور را چنین می‌خوانند:

«Y برابر X_1 و X_2 است».

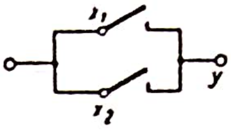
نمایش سمبولیک گیت AND که مدار منطقی «و» نیز نامیده می‌شود در شکل پایین نشان داده می‌شود:



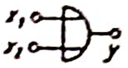
از آنجائی‌که عمل «و» را ضرب منطقی نیز می‌نامند بنابراین به‌طور خلاصه می‌توان نوشت:

$$Y = X_1X_2$$

گیت AND را مدار گیت «و» نیز می‌نامند.



x_1	x_2	y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

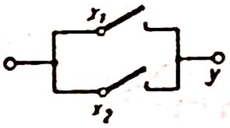


آیا تصویر سمبلیک شکل سمت راست تصویر یک مدار منطقی AND را نشان می‌دهد؟ بله یا خیر؟

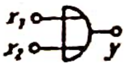
شکل مذکور، سمبل گرافیکی یک .... را نشان نمی‌دهد زیرا همانطور که در جدول ترکیب‌ها مشاهده می‌شود متغیر خروجی Y فقط در حالتی برابر سیگنال L است که حداقل یکی از متغیرها یعنی یا متغیر ورودی X_1 و یا متغیر ورودی X_2 دارای سیگنال L باشد.

بنابراین اگر در یک گیت که دارای دو متغیر ورودی X_1 و X_2 و یک متغیر خروجی Y است فقط یکی از ورودی‌ها یعنی یا .... یا .... و یا .... برابر یک باشد، خروجی Y نیز یک می‌شود که در این حالت گیت مذکور را «گیت OR» می‌نامند.

خیر
گیت AND
X_1 ـ
X_2 ـ هردو
۰



x_1	x_2	y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

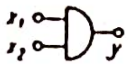
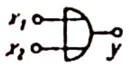


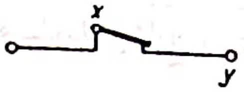
در اینجا تصویر یک مدار .... نشان داده می‌شود.

در صورتی که یا متغیر ورودی X_1 و یا متغیر ورودی X_2 و یا هردو متغیرها دارای سیگنال L باشند در این حالت متغیر خروجی Y نیز دارای سیگنال L می‌شود که در این صورت گیت مذکور را .... می‌نامند.

بنابراین صدق می‌کند:

گیت OR
گیت OR

$Y = X_1 \; V \; X_2$ در این‌جا علامت V برابر «یا» میباشد و تابع مذکور را چنین می‌خوانند. «Y برابر X_1 یا X_2 است». از آنجائی‌که علامت «یا» راکه جمع منطقی نامیده می‌شود با علامت + نشان می‌دهند. بنابراین می‌توا ن به طور خلاصه نوشت: $Y = X_1 + X_2$ گیت OR را مدار منطقی «یا» نیز می‌نامند.	
  در سمت چپ سمبل مدار نشان داده می‌شود. گیت AND را مدار گیت منطقی «و» نیز می‌نامند. اگر در یک گیت که دارای متغیر ورودی X_1 و X_2 و یک متغیر خروجی Y است هر دو ورودی‌ها دارای سیگنال L باشد، خروجی نیز دارای سیگنال L می‌شود که در این حالت آنرا می‌نامند. در سمت راست سمبل مدار نشان داده می‌شود. در مدار متغیر خروجی Y در صورتی دارای سیگنال L می‌شود که یا متغیر ورودی X_1 و یا متغیر ورودی X_2 و یا هر دو متغیرها دارای سیگنال L باشند.	گیت AND گیت AND گیت OR گیت OR



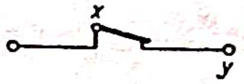
x	y
0	L
L	0

در شکل سمت چپ مدار تابع و در شکلی که در وسط قرار دارد جدول درستی و در شکل سمت راست سمبل مداری یا نماد یک گیت نشان داده می‌شود.

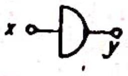
در اینجا جدول درستی نشان می‌دهد که اگر متغیر X دارای سیگنال L نباشد در آن صورت متغیر Y دارای سیگنال L می‌شود. به‌عبارتی دیگر متغیر خروجی در صورتی صفر می‌شود که متغیر ورودی دارای سیگنال L باشد که در آن صورت گیت مذکور را گیت NOT یا مدار گیت NOT می‌نامند.

مدار گیت NOT معکوس نیز نامیده می‌شود.

در مدار گیت NOT فقط امکان دو حالت وجود دارد زیرا فقط دارای یک متغیر ورودی می‌باشد.



x	y
0	L
L	0



در تصاویر بالا مدار تابع، جدول درستی و نماد یک مدار گیت NOT نشان داده می‌شود.

در اینجا جدول درستی نشان می‌دهد که اگر متغیر X دارای سیگنال L نباشد درآن‌صورت متغیر Y دارای‌سیگنال L می‌شود.

مدار گیت NOT مداری است‌که درآن فقط در صورتی متغیر

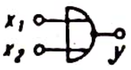
خروجی L می‌شود که متغیر ورودی دارای سیگنال L نباشد.

بنابراین صدق می‌کند: $Y = \bar{X}$

$Y = \bar{X}$ را می‌توان به صورت $Y = X'$ نیز نوشت که تابع مذکو را چنین می‌خوانند: «نقیض X برابر Y است».

---

x_1	x_2	y
0	0	L
0	L	0
L	0	0
L	L	0



آیا شکل بالا تصویر یک مدار گیت NOT را نشان می‌دهد؟ بله یا خیر؟

خیر

مدار بالا یک مدار .... را نشان نمی‌دهد زیرا خروجی فقط در صورتی دارای سیگنال L می‌شود که هیچیک از ورودیهای X_1 و X_2 دارای سیگنال L نباشد به‌عبارتی اگر یک یا دو متغیر ورودی X_1 و X_2 یک باشند، متغیر خروجی Y صفر می‌شود اما اگر هر دو متغیر ورودی X_1 و X_2 صفر باشند، متغیر خروجی Y یک می‌شود که در این حالت مدار گیت مذکور را مدار گیت NOR می‌نامند که از کلمهٔ OR - NOT مشتق می‌شود.

گیت نفی

مدار .... را گیت نفی «یا» نیز می‌نامند.

گیت NOR

در اینجا سمبل گرافیکی یک مدار   نشان داده می‌شود که آنرا گیت نفی «یا» نیز می‌نامند.

گیت NOR

در یک مدار   متغیر خروجی Y در صورتی یک می‌شود که هر دو متغیر ورودی X_1 و X_2 صفر باشند.

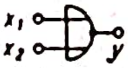
گیت NOR

بنابراین در مورد یک مدار   معتبر است :
$Y = X_1 \bar{\vee} X_2$ و این بدآن معنا است که اگر متغیر خروجی گیت OR دارای معکوس‌کننده باشد گیت NOR بدست می‌آید.

گیت NOR

---

x_1	x_2	y
0	0	L
0	L	0
L	0	0
L	L	0

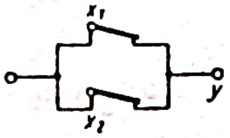


در شکل بالا تصویر یک مدار   نشان داده می‌شود.
گیت NOR را گیت نفی «یا» نیز می‌نامند.

گیت NOR

یک مدار   در صورتی بدست می‌آید که متغیر خروجی گیت OR دارای معکوس‌کننده باشد.
گیت NOR در واقع همان گیت NOT - OR است که ترکیبی از گیت OR و معکوس‌کننده می‌باشد.

گیت NOR

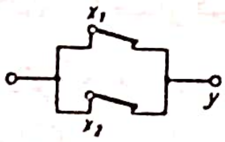


x_1	x_2	y
0	0	L
0	L	L
L	0	L
L	L	0

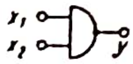
آیا شکل بالا تصویر یک مدار گیت NOR را نشان می‌دهد؟
بله یا خیر؟

خیر

مدار تابع در شکل بالا مربوط به گیت NOR نمی‌شود زیرا متغیر خروجی Y فقط در صورتی دارای سیگنال O می‌شود که هر دو متغیر ورودی X_1 و X_2 دارای سیگنال L باشند.
بنابراین یک گیت را که در آن خروجی فقط در صورتی O می‌شود که تمام ورودی‌ها L باشد، مدار گیت NAND می‌نامند.



x_1	x_2	y
0	0	L
0	L	L
L	0	L
L	L	0



یک مدار .... را که گیت نفی «و» نیز می‌نامند در واقع ترکیبی از گیت AND و گیت NOT می‌باشد.

گیت NAND

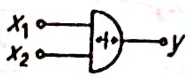
بنابراین یک مدار .... در صورتی بدست می‌آید که متغیر خروجی گیت AND دارای معکوس‌کننده باشد.

گیت NAND

در مورد مدار .... معتبر است:

$$Y = X_1 \bar{\wedge} X_2$$

گیت NAND



x_1	x_2	$y = x_1 \leftrightarrow x_2$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

آیا مدار شکل بالا یک مدار گیت NAND است؟ بله یا خیر؟

خیر

شکل بالا تصویر یک مدار گیت NAND را نشان نمی‌دهد زیرا در صورتی متغیر Y دارای سیگنال ۱ می‌شود که یا متغیر X_1 و یا متغیر X_2 دارای سیگنال 1 باشد.

بنابراین یک گیت را که در آن خروجی فقط در صورتی یک می‌شود که یکی از ورودی‌ها یک باشد، مدار گیت Exclusive - OR یا XOR می‌نامند.

مدار گیت XOR که مدار «پای ـ انحصاری» نیز نامیده می‌شود در واقع ترکیبی از مدار گیت AND ، OR و معکوس‌کننده می‌باشد.

بنابراین تفاوت بین مدار گیت XOR با مدار گیت OR آن است که در مدار گیت XOR در صورتی که هر دو متغیر ورودی یک باشد، خروجی صفر است در حالی‌که در مدار گیت OR اگر هر دو متغیر ورودی یک باشد، خروجی یک است.

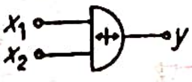
گیت Exclusive- OR

در مدار مدار معتبر است:

$Y = X_1 \quad X_2$

که می‌توان آنرا چنین نیز نوشت:

$Y = X_1 \oplus X_2$



x_1	x_2	y = x_1 ↔ x_2
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

گیت -Exclusive-OR

در اینجا سمبل گرافیکی و جدول درستی یک مدار نشان داده می‌شود که آنرا مدار یا EOR نیز می‌نامند.

گیت XOR

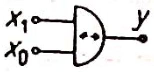
گیت XOR

تنها تفاوت بین مدار با مدار گیت OR در آن است

که اگر هر دو متغیر ورودی در مدار   یک باشد، خروجی صفر است در حالی‌که در مدار   اگر هر دو متغیر ورودی یک باشد، خروجی یک می‌شود و در هر سه حالت دیگر مدار گیت XOR با مدار گیت OR مشابه می‌باشد.

همچنین مدار   را مدار Antivalence (آنتی والانس) هم می‌نامند.

گیت XOR
گیت OR
گیت Exclusive - OR -



x_1	x_2	$y = x_1 \leftrightarrow x_2$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

آیا شکل بالا تصویر یک مدار Antivalence را نشان می‌دهد؟ بله یا خیر؟

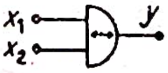
خیر

شکل بالا مربوط به یک مدار Antivalence نمی‌شود زیرا در این مدار متغیر خروجی Y فقط در حالتی دارای سیگنال 1 می‌شود که یا هر دو متغیر ورودی X_1 و X_2 صفر باشد و یا هر دو متغیر ورودی X_1 و X_2 یک باشد که در این حالت چنین مداری را یک مدار Equivalence (اکوئی والانس) می‌نامند.

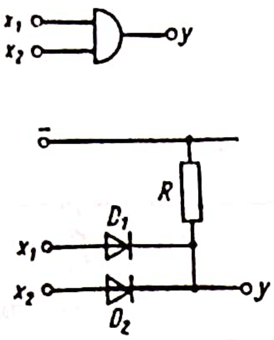
مدار Equivalence را که تابع هم‌ارزی یا تابع معادل نیز نامیده می‌شود، مدار «نفی یای انحصاری» هم می‌نامند.

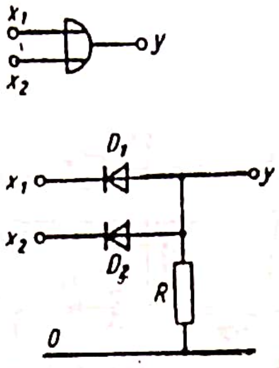
---

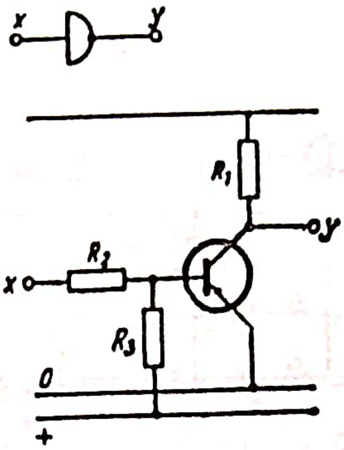
x_1	x_2	$y = x_1 \wedge x_2$	$y = x_1 \leftrightarrow x_2$
0	0	0	1
0	1	0	0
1	0	0	0
1	1	1	1



مـداری کـه در شکـل بـالا نشـان داده مـی‌شود یک مـدار است تنها تفاوت یک مدار با یک مدار گیت AND در آن است که در صورتی که هر دو متغیر ورودی در مدار صفر باشد، خروجی 1 می‌شود. در حالی‌که اگر هر دو متغیر ورودی در مدار گیت AND صفر باشد، خروجی صفر می‌شود و در هر سه حالت دیگر مدار گیت Equivalence با مدار گیت AND مشابه است. مدار Equivalence را مدار Exclusive - NOR یا ENOR نیز می‌نامند. بنابراین در مورد مدار معتبر است : $Y = X_1 \quad X_2$ که می‌توان آنرا چنین نیز نوشت: $Y = X_1 \odot X_2$	Equivalence Equivalence Equivalence Exclusive - NOR
به‌طور کلی توابع بول می‌توانند به کمک مدارهای رله و یا هـمچنین تـوسط مـدارهـای الکـترونی مـانند دیـودها یـا ترانزیستورها نمایش داده شوند. بنابراین توابع بول می‌توانند توسط مدارهائی با چند ورودی و یک خروجی نشان داده شوند که در آن صورت آن را یک «شبکه» می‌نامند.	
بنابراین از یک می‌توان به منظور نمایش توابع بول استفاده کرد.	شبکه
یک می‌تواند از چندین اِلمان تشکیل شود و دارای چند ورودی و یک خروجی باشد.	شبکه







در شکل‌های بالا نمودارهای سه   نشان داده می‌شود. — شبکه

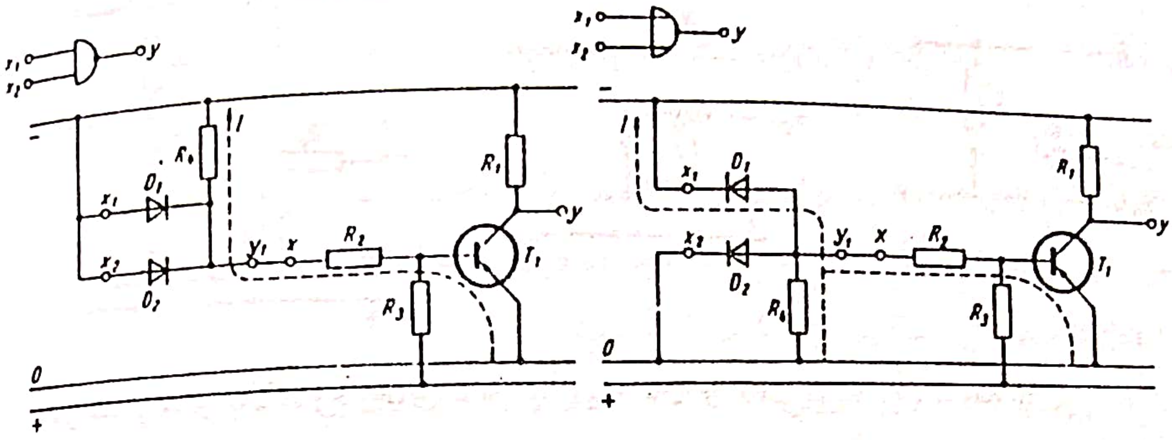
در اینجا هر کدام از شبکه‌هائی که در سمت چپ و در وسط نشان داده می‌شود از یک مقاومت و دو   تشکیل شده است. — دیود

در سمت چپ نمودار یک گیت AND و در وسط نمودار یک گیت OR نشان داده می‌شود که هر یک از این نمودارها را یک نمودار مدار پایه یا مدار گیت اساسی می‌نامند.

این نمودارهای   که‌ازمقاومت و دیودتشکیل شده‌اند، منطق مقاومت ـ دیود نامیده می‌شوند. — مدار گیت اساسی

اما در سمت راست نمودار یک گیت NOT نمایش داده می‌شود که به کمک یک ترانزیستور کار می‌کند.

این نمودار   که از مقاومت و ترانزیستور تشکیل شده است، منطق مقاومت ـ ترانزیستور نامیده می‌شود. — مدار گیت اساسی



در شـکل‌هـای بـالا نـموار NOR و نـمودار NAND به طور شماتیک نشان داده می‌شود.	مدار گیت اساسی -
	مدار گیت اساسی -
نمودار NOR در صورتی بدست می‌آید که به‌یک مـدار پایه مانند گیت OR ، مـدار پایهٔ دیگری مانند گیت بسته شود.	مدار گیت اساسی - NOT
همچنین نمودار NAND در صورتی بدست می‌آید که به یک مـدار پایه مانند گیت AND مدار پایهٔ دیگری مانند گیت متصل گردد.	مدار گیت اساسی NOT
بنابراین با استفاده از در توابع پایهٔ گیت AND وگیت OR می‌توان توابع معکوسی را به دست آورد.	معکوس‌کننده‌ها

به‌طور کلی این سئوال مطرح می‌شود که چطور می‌توان مدارهای منطقی را توسط مدارهای الکتریکی نمایش دارد. از آنجائی‌که متغیرهای منطقی فقط می‌توانند دارای دو مقدار 0 و 1 باشند به همین علت فقط مدارهائی مورد توجه قرار می‌گیرند که عملکرد آنها دارای دو وضعیت متمایز و مشخصی باشد. البته ساده‌ترین امکان برای نمایش یک متغیر منطقی استفاده از

کنتاکت

می‌باشد که تصویر شماتیک سادهٔ آن در شکل 1 نشان داده می‌شود. حال اگر در این رابطه بخواهیم از یک قرارداد منطقی استفاده کنیم در آن صورت مثلاً صفر منطقی را می‌توان با باز بودن کلید و یک منطقی را با بسته بودن کلید نمایش داد.

متغیر

بنابراین کنتاکت K X متغیر را در صورتی نشان می‌دهد که زمانی که کلید بسته است متغیر $X = 1$ باشد و کنتاکت K متغیر $\bar{X}$ را در صورتی نشان می‌دهد که زمانی که کلیدباز است متغیر $X = 1$ باشد.

شکل ۱ : نمایش یک متغیر منطقی توسط کنتاکت

شکل ۲ : مدار AND

اکنون ما نخست می‌خواهیم مشخص کنیم که در حالتی که دو کلید X_1 و X_2 مطابق شکل ۲ به صورت مدار سری بسته شده‌اند یعنی کلیدها سری هستند، کدام تابع منطقی بدست می‌آید. میزان وابستگی متغیرها از آنجا مشخص می‌شود که آرایش کلیدهای بین ترمینالهای اتصال باز یا بسته باشند و

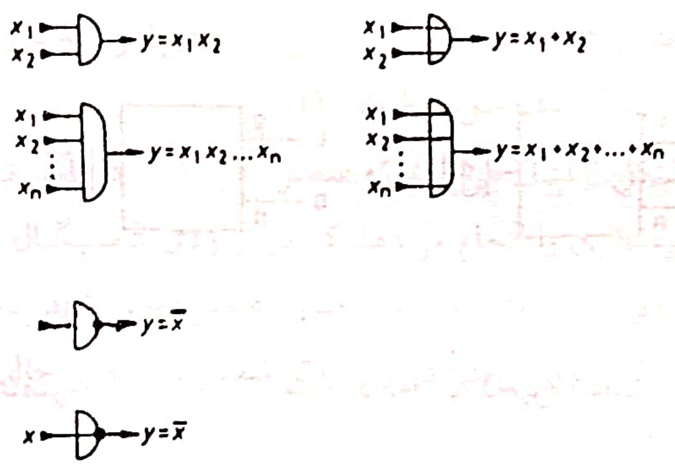
همانطور که در تصویر مشاهده می‌شود عبور جریان فقط در صورتی امکان دارد که کلیدهای X_1 و X_2 بسته باشند که در این حالت برابر «یک» می‌شوند. بنابراین در حالتی که کلیدها به‌طور سری بسته شوند، مدار مذکور به صورت یک مدار AND عمل می‌کند در حالی‌که اگر کلیدها به طور موازی بسته شوند، مدار به صورت یک مدار OR عمل می‌کند.

البته امکان دیگری نیز برای نمایش متغیرهای منطقی وجود دارد که آن استفاده از ولتاژهای الکتریکی می‌باشد. به‌عبارتی در مدارات الکترونی دیجیتال برای نمایش متغیرهای منطقی دو سطح مختلف ولتاژ یعنی H و L را به جای 1 و 0 مورد استفاده قرار می‌دهند. بدین ترتیب که برای نشان دادن توابع پایه منطقی از یک قرارداد منطقی به صورت منطق مثبت و منطق منفی استفاده می‌شود. بنابراین اگر H و L را جانشین دو وضعیت 1 , 0 قرار دهیم به طور مثال ولتاژ بالا (H) برابر 1 منطقی و ولتاژ پایین (L) برابر 0 منطقی باشد در این صورت می‌توان آنرا منطق مثبت بنامیم به عبارتی در این حالت به منظور نمایش سطح ولتاژی که بیشتر مثبت است از نماد «یک» استفاده می‌شود و برای نمایش سطح ولتاژی که کمتر مثبت است، نماد «صفر» را به کار می‌برند اما اگر برعکس $H = 0$ و $L = 1$ باشد در آن صورت می‌توا ن آن را منطق منفی نامید که در این حالت به منظور نمایش سطح ولتاژی که کمتر مثبت است از نماد «یک» استفاده می‌شود و برای نمایش سطح ولتاژی که بیشتر مثبت است، نماد «صفر» را به کار می‌برند. یک گیت در حالت منطق مثبت می‌تواند با یک گیت AND مطابقت داشته باشد و برعکس همان گیت در حالت منطق منفی می‌تواند به عنوان یک گیت OR عمل کند.

بنابراین توابع پایه منطقی می‌توانند توسط مدارات

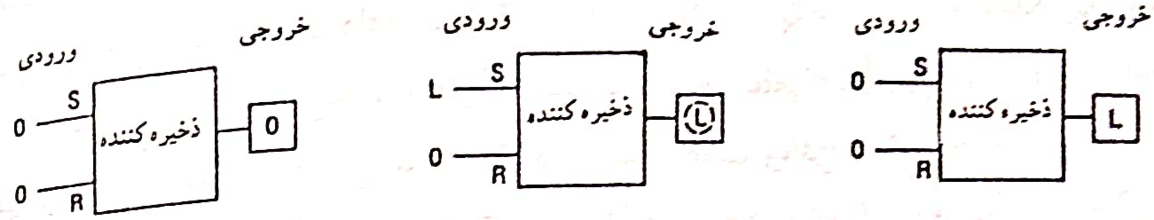
الکترونیکی دیجیتال که دارای یک یا چند ورودی و یک
خروجی می‌باشند، نشا ن داده شوند که در این حالت آنها را
می‌نامند. از آنجائی‌که به منظور نمایش یک تابع منطقی شبکه
می‌توا ن از امکانات مختلفی استفاده کرد به همین علت روش
ساده‌تر استفاده از سمبل‌های گرافیکی می‌باشد که هر یک
به‌طور جداگانه می‌تواند یک منطقی را مانند AND ، OR ، تابع
NOT ، NAND ، NOR وغیره را نشان دهد که در این صورت
لزومی به مطرح کردن ساختمان داخلی آن‌ها نمی‌باشد.

به‌طور مثال این سمبل‌های مداری منطقی دیجیتال در اینجا
به صورت ۵ حالت نشان داده می‌شوند.



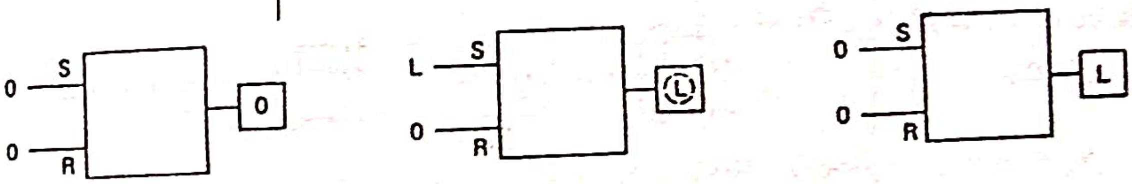
شکل۵:سمبل مدار منطقی NOT

از آنجائی‌که در سیستم دیجیتال ولتاژ به عنوان یک کمیت
فیزیکی مطرح نمی‌شود بلکه فقط از نظر «وضعیت منطقی»
مورد بررسی قرار می‌گیرد به همین علت ورودی‌ها و خروجی‌ها
با U_1 و U_2 نشان داده نمی‌شوند و مستقیماً آنها را توسط
متغیرهای منطقی نمایش می‌دهند.



در اینجا تصویر شماتیکی از عملکرد یک عنصر ذخیره‌کنندهٔ دو دوئی نشان داده می‌شود.

از یک عنصر ذخیره‌کننده به منظور دریافت، نگهداری و ارسال دوبارهٔ سیگنال استفاده می‌شود که این نگهداری سیگنال را عمل ذخیره‌سازی سیگنال نیز می‌نامند.

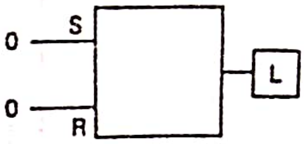


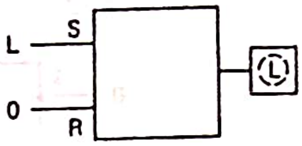
ذخیره‌کننده

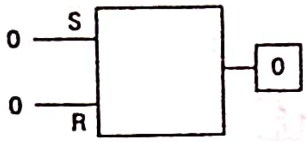
در اینجا تصویر شماتیک یک عنصر ______ نشان داده ______ می‌شود.

از یک عنصر ذخیره‌کننده به منظور دریافت، نگهداری و ارسال دوبارهٔ سیگنال استفاده می‌شود.

اگر یک عنصر ذخیره‌کننده سیگنالی را دریافت کند در آن صورت می‌توان گفت که این عنصر ذخیره‌کننده پُر شده و در حالت ست (set) یا نشانده قرار گرفته است.







در اینجا به تصویر شماتیک یک عنصر .... دو دوئی که دارای دو ورودی S , R می‌باشد، نشان داده می‌شود.

ذخیره‌کننده

آیا اگر به ورودی S و R سیگنال O اعمال شود، عنصر ذخیره‌کننده در حالت «پُر شده» قرار می‌گیرد؟ بله یا خیر؟

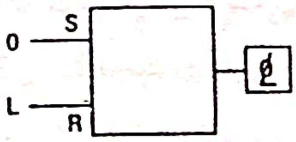
خیر

اگر به‌ورودی S و R سیگنال O اعمال شود، عنصر ذخیره‌کننده «نشانده» نمی‌شود.

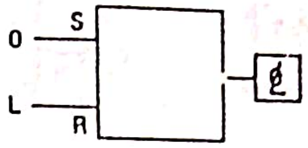
عنصر ذخیره‌کننده در صورتی .... می‌شود که به ورودی S سیگنال L اعمال شود. (شکل ۲)

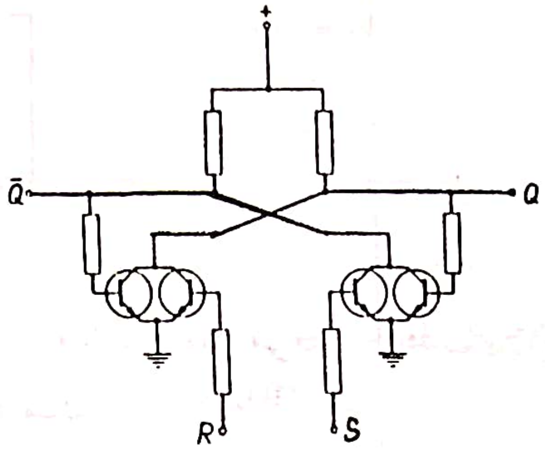
پُر

شکل ۳ نشان می‌دهد که عنصر .... در صورتی عمل ذخیره‌سازی را انجام می‌دهد که در ورودی S سیگنال اعمال شده دوباره ناپدید شود که در نتیجه عنصر ذخیره‌کننده در همان حالت قبلی خود یعنی در حالت پُر شده بدون تغییر حالت باقی می‌ماند.



اگر سیگنال O در ورودی S در همان حالت باقی بماند و به ورودی R یک سیگنال L اعمال شود در آن صورت عنصر ذخیره‌کننده در حالت ری‌ست (Reset) قرار می‌گیرد و به‌عبارتی

دیگر «باز نشانده» یا پاک می‌شود.	
 آیا این عنصر ذخیره‌کنده باز نشانده شده است؟ بله یا خیر؟ این عنصر ذخیره‌کننده شده است و سیگنال ذخیره شده را دوباره بر می‌گرداند. به‌عبارتی دیگر عنصر ذخیره‌کننده در حالت O قرار می‌گیرد. بنابراین یک عنصر ذخیره‌کنندهٔ پر شده در صورتی می‌شود که یک سیگنال L به ورودی R آن اعمال شود.	بله ـ پاک پاک



در شکل بالا تصویر شماتیک یک عنصر ذخیره‌کنندهٔ دو دوئی نمایش داده می‌شود که دارای دو مدار پایهٔ NOR و دو ورودی S و R می‌باشد.

حال اگر به ورودی S یک سیگنال L اعمال شود در آن صورت عنصر ذخیره‌کننده می‌شود و در حالت 1 یا قرار می‌گیرد و در صورتی که به هر دو ورودی‌های S و R سیگنال O اعمال شود در آن صورت هیچگونه تغییر حالتی به وجود نمی‌آید.

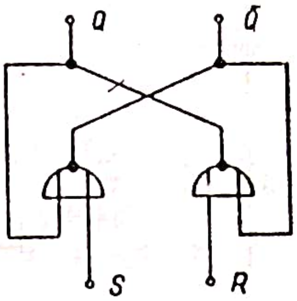
پُر - نشانده

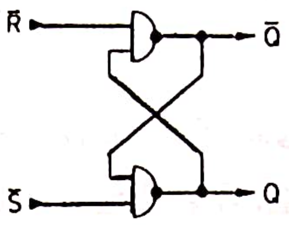
حال اگر به ورودی R یک سیگنال L و به ورودی S یک سیگنال O اعمال شود در آن صورت عنصر ذخیره‌کننده دوباره می‌شود و در حالت O قرار می‌گیرد.

پاک

بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که عنصر ذخیره‌کننده دائماً در یکی از دو حالت قرار دارد و به عبارتی مانند یک الاکلنگ دارای دو حالت پایدار می‌باشد.

بنابرا ین یک چنین عنصر ذخیره‌کننده‌ای را «فلیپ فلاپ RS» می‌نامند.

	
در شکل بالا تصویر یک RS نشان داده می‌شود که از دو مدار پایهٔ NOR تشکیل شده است.	فلیپ فلاپ
یک مدار اساسی فلیپ فلاپ که یک عنصر دو دوئی است دارای دو ورودی S و R و دو خروجی Q و $\bar{Q}$ می‌باشد.	ذخیره‌کننده
در فلیپ فلاپ RS سیگنال خروجی به علت وابستگی به خصوصیات فلیپ فلاپ و سیگنال ورودی بین دو مقدار O و 1 تغییر می‌کند که چنین مداری را یک «مدار دو پایا» می‌نامند.	
یک فلیپ فلاپ یک مدار می‌باشد که می‌تواند در ساده‌ترین فرم از دو ترانزیستور تشکیل شود به طوریکه ترانزیستورها برحسب سیگنال اعمال شده به نوبت حامل جریان باشند و بنابراین در آن دو وضعیت ولتاژ پایدار به وجود آید. به همین علت نیز این چنین مداری که دارای دو حالت ثابت و پایدار می‌باشد، یک «فلیپ فلاپ دو پایا» نامیده می‌شود.	دو پایا

 در شکل بالا تصویر شماتیک یک نشان داده می‌شود که از دو مدار پایهٔ NAND که اتصال آنها به‌صورت ضربدر می‌باشد تشکیل شده است.	فلیپ فلاپ RS
یک فلیپ فلاپ RS دارای یک می‌باشد زیرا این مدار که دارای دو ورودی می‌باشد می‌تواند دو وضعیت پایدار داشته باشد.	مدار دو پایا
مدارهای دو پایا می‌توانند به منظور ذخیره‌سازی سیگنالها مورد استفاده قرار گیرند. یک فلیپ فلاپ دو پایا یک عنصر ذخیره‌کننده است و یک عنصر ذخیره‌کننده را یک سلول ذخیره‌کنندهٔ دو دوئی نیز می‌نامند.	
هر فقط می‌تواند دارای دو حالت مشخص O و L باشد.	سلول ذخیره‌کنندهٔ دو دوئی

کد بندی

به طور کلی آنچه که در وهلهٔ نخست از مفهوم واژهٔ «کد» یا «کدبندی» به ذهن شخص خطور می‌کند در واقع قاعده یا دستوری برای تبدیل دو مقدار به یکدیگر می‌باشد (مانند حروف الفبا) که البته در اکثر موارد تبدیل یک سیستم به سیستم دیگر به طور معکوس انجام نمی‌شود. به طور مثال تبدیل اعداد رومی بـه اعـداد عـربی نـیز خـود یک عـمل «کدبندی» محسوب می‌گردد که در اینجا نمونه‌هائی از آن نشان داده می‌شود:

A	B	C	عدد اعشاری
2^0	2^1	2^2	مبنا
L	L	L	0
H	L	L	1
L	H	L	2
H	H	L	3
L	L	H	4
H	L	H	5
L	H	H	6
H	H	H	7

جدول ۱ :کد دو تائی سه بیتی

عدد عربی	عدد رومی
1	1
4	IV
5	V
6	VI
10	X
100	C
1000	M

بـه‌طور مـثال عـدد عـربی 1336 بـا عـدد رومـی MCCCXXXVI مطابقت دارد.

واژهٔ بیت (Bit) مخفف binary digit است که به منظور ارقام دو دوئی مورد استفاده قرار می‌گیرد. همانطور که مثلاً واژهٔ two دارای سه حرف الفبا می‌باشد، حرف بـاینری LLL یا LLH نیز از سه بیت تشکیل شده است.

کدی را که در شکل بالا مشاهده می‌کنید یک کد دو دوئی می‌باشد زیرا می‌توان آنرا با دو رقم دو دوئی O و 1 نمایش داد. حال اگر 1 = H و O = L در نظر گرفته شود و

مجموع ارقام را بدست آوریم در آن صورت عدد مذکور با عدد اعشاری مطابقت می‌کند. البته مزیت ویژه‌ای که کد باینری یا کد دو دوئی دارا می‌باشد آن است که در این کد فقط از دو حالت متمایز استفاده می‌شود (مانند بسته یا باز بودن کلید، ولتاژ بالا H و یا ولتاژ پایین L).

بنابراین به منظور کد کردن ارقام اعشاری می‌توا ن سیستم دو دوئی را به کار برد به طوری که هر رقم اعشاری در این کد با یک رقم دو دوئی مطابقت داشته باشد. مثلاً در تبدیل سیستم اعشاری به سیستم اعداد باینری رقم اعشاری ۱۸ به‌صورت رقم دو دوئی 10010 کد می‌شود (عدد باینری 10010 که دارای پنجم رقم می‌باشد به‌ترتیب از راست به‌چپ نشاندهندهٔ ارقام یکان، دوگان، چهارگان، هشت‌گان و شانزده‌گان است). البته این کد دو دوئی به ندرت به کار برده می‌شود و به‌جای آن هر یک از ارقام اعشاری به طور جداگانه کد می‌شوند و برای کد کردن ارقام اعشاری به جای هر رقم از ۰ تا ۹ از چهار بیت استفاده می‌گردد که کد مذکور را «کد دو دوئی چهار بیتی» می‌نامند.

کد دو دوئی چهار بیتی

با یک رقم دو دوئی که دارای چهار بیت است می‌توان شانزده ترکیب بدست آورد که البته برای نمایش ارقام ۰ تا ۹ فقط ۱۰ ترکیب به کار برده می‌شود و در نتیجه ۶ ترکیب دیگر باقی می‌ماند که از آن استفاده نمی‌شود.

سیستم دو دوئی (دوآل)	کد باینری BCD	کد 2421	کد افزونی ـ ۳ (سه افزا)	کد گری
D C B A	D C B A	D C B A	D C B A	D C B A
ارزشها 4 8 2 1	8 4 2 1	2 4 2 1		
برای ارقام کد				
0 L L L L	0 L L L L	0 L L L L		0 L L L L
1 L L L H	1 L L L H	1 L L L H		1 L L L H
2 L L H L	2 L L H L	2 L L H L		3 L L H L
3 L L H H	3 L L H H	3 L L H H	0 L L H H	2 L L H H
4 L H L L	4 L H L L	4 L H L L	1 L H L L	7 L H L L
5 L H L H	5 L H L H		2 L H L H	6 L H L H
6 L H H L	6 L H H L		3 L H H L	4 L H H L
7 L H H H	7 L H H H		4 L H H H	5 L H H H
8 H L L L	8 H L L L		5 H L L L	
9 H L L H	9 H L L H		6 H L L H	
10 H L H L			7 H L H L	
11 H L H H		5 H L H H	8 H L H H	
12 H H L L	6 H H L L	9 H H L L	9 H H L L	8 H H L H
13 H H L H		7 H H L H		9 H H L H
14 H H H L		8 H H H L		
15 H H H H		9 H H H H		

مثال‌هائی که در این ارقام اعشاری کد می‌شوند:

به‌طور مثال تبدیل عدد ۱۵ به‌سیستم دو دوئی: H H H H و به کد BCD: L H L H، L L L H، به کد 2421: H L H H L L L H، به کد افزونی ـ ۳: H L L L L H L L و به کد گری: L H H H L L L H

و همچنین تبدیل عدد ۳۳ به سیستم دو دوئی: H L L L L H و بـه کـد BCD: L L H H L L H H، به کد 2421: L L H H L L H H، به کدافزونی ـ۳: H H L L H H L L و به کد گری: L L H L L L H L

توابع منطقی اصلی

در سیستم دیجیتال سیگنال‌های الکتریکی می‌توانند دارای دو وضعیت مشخص و متمایزی باشند که به طور مثال در مدارهای الکترونیک دیجیتال با حالت باز یا بسته بودن کلید و در مغناطیس شوندگی با حالت مثبت یا منفی در حوزهٔ اشباع و در ترانزیستور با وضعیت عبور یا عدم عبور جریان مطابقت داشته باشند. بنابراین چنین کمیت‌هائی را که توصیف‌کنندهٔ چنین حالتهائی هستند، کمیتهای باینری می‌نامند که به‌صورت ارقام باینری نمایش داده می‌شوند. یک متغیر دو دوئی که می‌تواند به‌صورت دو مقدار 0 یا 1 نشان داده شود با حالت کلید باز یا بسته تطبیق دارد به طوری‌که مثلاً ارزش یک متغیر دو دوئی X در صورتی که کلید باز باشد 0 و در صورت بسته بودن کلید 1 می‌شود. این محدودیت دو مقدار مشخص برخلاف متغیرهای آنالوگ که حوزهٔ مقادیر آن به‌صورت پیوسته می‌باشد، در سیستم دیجیتال به صورت گسسته است.

جبر منطقی که در مورد مدارهای گیت کاربرد دارد در واقع سیستمی را توصیف می‌کند که متغیرهای دو دوئی در آن فقط می‌توانند دارای یکی از دو حالت 0 یا 1 باشند. جبر منطقی که توسط جرج بول (۶۴ - ۱۸۱۵) پایه‌ریزی شد، «جبربول» نیز نامیده می‌شود.

جرج بول به منظور نمایش توابع در جبر منطقی از جدولی به نام «جدول درستی» یا «جدول ترکیب‌ها» استفاده کرد که در این جدول گزاره‌های منطقی به صورت «درست» یا «نادرست» با یکدیگر ترکیب می‌شوند و می‌توان از آنها گزاره‌های منطقی جدیدی بدست آورد که البته گزارهٔ درست با علامت 1 و گزارهٔ نادرست با علامت O نمایش داده می‌شود. به‌عبارتی باتوجه به ارتباط بین ترکیب متغیرها در جدول درستی در یک ستون می‌توان نتایج جدیدی را در ستون دیگر بدست آورد.

به طور کلی درجبر منطقی سه تابع منطقی اصلی AND ، OR ، NOT وجود دارد.

تابع OR (مدار گیت OR یا جمع منطقی)

متغیر Y به دو متغیر بول X_0 و X_1 بستگی دارد و در این حالت مطابق شکل ۱ در صورتی $Y = 1$ (درست) می‌شود که متغیر X_0 یا متغیر X_1 یا هر دو متغیر «یک» (درست) باشد.

شکل ۱ جدول درستی و سمبل مداری گیت OR را نشان می‌دهد.

در تابع $Y = X_0 \vee X_1$ نماد Y به معنای «و» می‌باشد. به عبارتی به جای عمل + از نماد ∨ استفاده می‌شود.

تابع AND (مدار گیت AND یا ضرب منطقی)

متغیر Y به دو متغیر بول X_0 و X_1 بستگی دارد و در این حالت مطابق شکل ۲ در صورتی $Y = 1$ (درست) می‌شود که هر دو متغیر X_0 و X_1 «یک» (درست) باشند.

در تابع $Y = X_0 \wedge X_1$ نماد ∧ به معنای «یا» میباشد و جانشین علامت & می‌شود و در واقع به‌جای عمل ضرب از نماد ∧ نیز استفاده می‌گردد به عبارتی دیگر تابع مذکور را چنین نیز می‌توان نوشت:

$$Y = X_0 . X_1$$

تابع NOT (مدار گیت NOT)

مطابق شکل ۳ در تابع NOT متغیرهای بول معکوس می‌شوند : در صورتی $Y = 1$ (درست) می‌شود که $X = 0$ (نادرست) باشد.

تابع نفی $Y = \bar{X}$ را به صورت X   = Y نیز می‌نویسند.

$y = x_1 \vee x_0$

x_1	x_0	y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$y = x_1 \wedge x_0$

x_1	x_0	y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

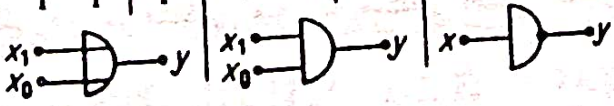
$y = \bar{x}$

x	y
0	1
1	0

$y = x_0 \vee x_1$

$y = x_0 \wedge x_2$

$y = \bar{x}$



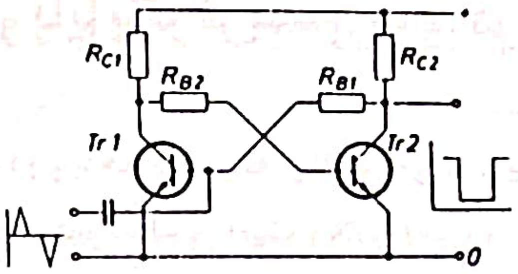
سه نوع عملیات منطقی اصلی OR ، AND ، NOT (تابع نفی)

فلیپ فلاپ دو پایا باترانزیستورهای در حالت اشباع

یک مدار فلیپ فلاپ دو پایا همان‌طور که از نامش می‌توان پی‌برد، دارای دو وضعیت مداری پایدار می‌باشد. در مدار اساسی فلیپ فلاپ (مطابق شکل ۱) تنظیم هر دو وضعیت مداری به‌علت اعمال پالسهای ورودی از هر دو جهت بوجود می‌آید که در نتیجه همواره مدار در دو حالت ثبات قرار می‌گیرد.

در ابتدا در حالی‌که T_r2 هادی است، T_r1 در حالت قطع قرار دارد و مدار تا زمانی در همین حالت قرار می‌گیرد که یک پالس مثبت به ورودی اعمال شود. اکنون T_r1 در حالت هدایت قرار می‌گیرد و میزان ولتاژ امیتر ـ کلکتور $U_{CE}1$ تا حد میزان اشباع پایین می‌آید که در نتیجه میزان ولتاژ امیتر ـ بیس U_{BE_2} تا حدی پایین می‌آید که T_r2 د رحالت قطع قرار می‌گیرد. در نتیجه میزان ولتاژ امیتر ـ کلکتور U_{CE_2} مانند میزان ولتاژ امیتر ـ بیس U_{BE_1} افزایش می‌یابد به طوری‌که T_r1 نیز پس از ناپدید شدن پالس ورودی در حالت هدایت باقی می‌ماند. این وضعیت تا زمانی در همین حالت پایدار باقی می‌ماند که یک پالس منفی به ورودی اعمال شود که در نتیجه T_r1 قطع و میزان ولتاژ امیتر ـ کلکتور U_{CE_1} و میزان ولتاژ امیتر ـ بیس U_{BE_2} شدیداً افزایش می‌یابد و T_r2 در حالت هدایت جریان قرار می‌گیرد. به علت افت شدید میزان ولتاژ امیتر ـ کلکتور U_{CE_2} ، میزان ولتاژ امیتر ـ بیس U_{BE_1} تا حد پائینی کاهش می‌یابد به طوری که T_r1 نیز پس از ناپدید شدن پالس منفی ورودی در حالت قطع باقی می‌ماند. این وضعیت تا زمانی در حالت پایدار باقی می‌ماند که یک پالس مثبت به ورودی اعمال شود.

بنابراین فلیپ فلاپهای دو پایا در سیستم دیجیتال به‌منظور ذخیره‌سازی اعداد باینری مورد استفاده قرار می‌گیرند زیرا یک فلیپ فلاپ یک نوع سلول حافظه است و قادر می‌باشد تا زمانی که جریان برق قطع نشده باشد، یک بیت اطلاعات را در خود ذخیره کند.



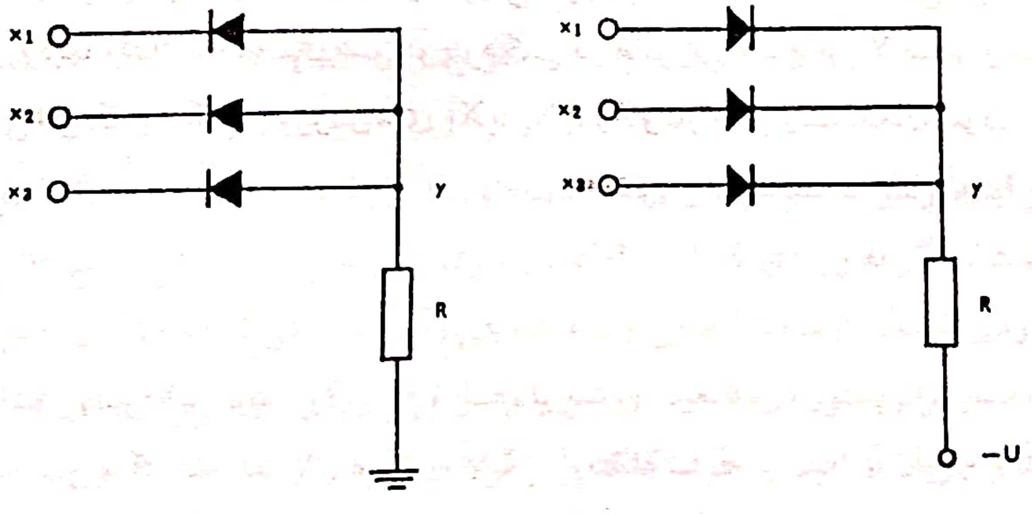
شکل ۱ : فلیپ فلاپ دو پایا با ترانزیستورهای در حالت اشباع

توابع منطقی دارای دیودهای نیمه‌هادی

برخلاف مدار رله در مدارات گیتهای مقاومت ـ دیودی فقط می‌توان مدارهای AND و OR را (غیر از مدار NOT) بدست آورد. همچنین در مورد مدارات گیتهای مقاومت ـ دیودی این نکته قابل ذکر است که دیود به علت وابستگی‌اش به ولتاژ اعمال شده، مقاومت کوچک یا بزرگی را نشان می‌دهد به طور مثال اگر مطابق شکل ۱ پلاریتهٔ ولتاژ آند نسبت به پلاریتهٔ ولتاژ کاتد مثبت باشد در آن صورت مقاومت دیود (مقاومت موافق) دارای مقدار اهمی کمی می‌شود اما برعکس به محض آنکه پلاریتهٔ آند نسبت به پلاریتهٔ ولتا کاتد منفی شود، دیود مقاومت زیادی (مقاومت مخالف) از خود نشان می‌دهد.

شکل ۱ : سمبل مداری یک دیود نیمه هادی A = آند K = کاتد

در اینجا همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود مدارهای گیت AND و OR با دیودهای نیمه‌هادی که دارای سه ورودی X_1 و X_2 و X_3 هستند نمایش داده می‌شوند.



شکل ۲ : مدارهای گیت AND و OR با دیودهای نیمه‌هادی که دارای سه ورودی هستند.

مقاومت R در کلیهٔ مدارات گیتهای دیودی برحسب آنکه مدار گیت AND باشد در قطب مثبت ولتاژ کار و در صورتی که مدار گیت OR باشد در قطب منفی قرار می‌گیرد.
سطح ولتاژ سیگنال ورودی بر ورودی‌های X_1 ، X_2 و X_3 می‌تواند دارای مقادیر ۰ یا U- ولت باشد که در مورد مقادیر هر دو ولتاژ قانون زیر نتیجه‌گیری می‌شود:

oVolt ≙ „L"

- U ≙ „O"

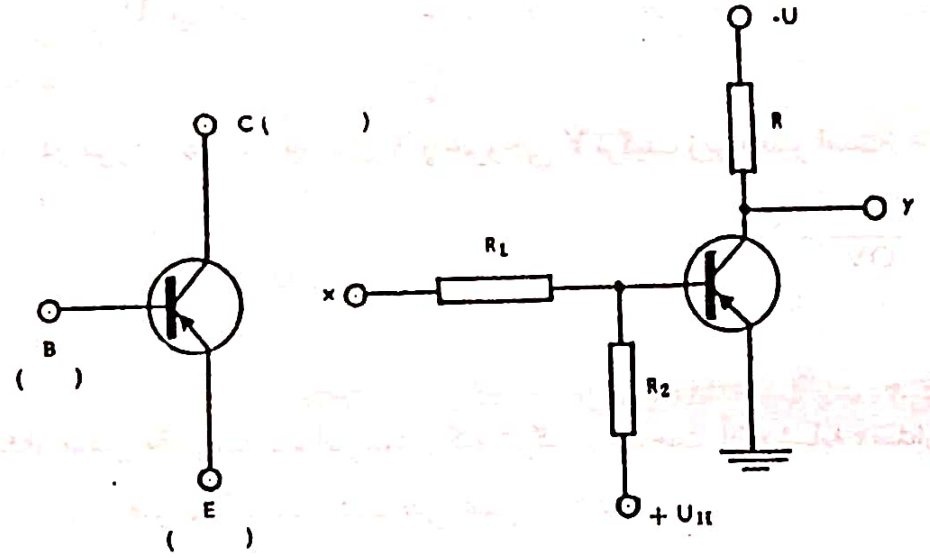
حال اگر به یکی از ورودی‌های مدار گیت AND ولتاژ („O") U - اعمال شود در آن صورت از مقاومت R و دیود جریان عبور می‌کند. از آنجائی‌که میزان مقاومت موافق دیود نسبت به R کوچک است، به همین علت ولتاژ U - که به ورودی اعمال شده است از خروجی Y همانند ولتاژ اعمال شده به‌هر دو ورودی‌های دیگر عبور می‌کند. در نتیجه خروجی Y در صورتی برابر مقدار دو دوئی O می‌شود که به‌یکی از ورودی‌ها مقدار „O" اعمال شود و برعکس خروجی Y در صورتی صفر ولت („L") می‌شود که به‌تمام ورودیهای X_1 و X_2 و X_3 صفر ولت اعمال شود.

اما در مورد مدار گیت OR اتصال دیودها در جهت معکوس هستند به طوری‌که از طریق معکوس کردن همهٔ ورودی‌ها و خروجی‌ها مدار گیت AND به مدار گیت OR تبدیل می‌شود.

بنابراین در مدار گیت OR در صورتی خروجی Y ولتاژ („O") U- می‌شود که به‌تمام ورودیها ولتاژ U- اعمال شود و برعکس در صورتی خروجی Y صفر ولت („L") می‌شود که به یکی از ورودی‌های X_1 یا X_2 یا X_3 ولتاژ صفر ولت اعمال شود.

توابع منطقی دارای ترانزیستور

علاوه بر مدارات گیت‌های مقاومت ـ دیودی، مدارهای منطقی دارای ترانزیستور نیز از اهمیّت ویژه‌ای برخوردار هستند و ترکیب ساخت این مدارات گیت‌های مقاومت ـ ترانزیستوری مشابه «مدار امیتر مشترک» می‌باشد و نقطهٔ مرجع مشترک برای سیگنال ورودی و خروجی همانطور که در شکل ۳ نشان داده می‌شود، الکترود امیتر می‌باشد.



a)سمبل مداری ترانزیستورPNP

b)مدار ترانزیستور

شکل ۳ : مدار ترانزیستور (معکوس‌کننده) با اتصال PnP

در اینجا ولتاژ تقسیم شده روی مقاومت‌های R_1 و R_2 بدین صورت اندازه‌گیری می‌شوند که اگر به ورودی X ولتاژ U- اعمال شود، روی بیس ترانزیستور نسبت به امیتر که به زمین اتصال دارد، ولتاژ منفی چند صد میلی ولت میزان می‌شود که درنتیجه در این حالت مدار ترانزیستور در وضعیت روشن یا وصل قرار می‌گیرد یعنی ترانزیستور هدایت می‌کند و جریان از امیتر به طرف کلکتور بر قرار می‌شود و از مقاومت R جریان عبور می‌کند. در این شرایط در حلقهٔ امیتر ـ کلکتور مقدار کمی ولتاژ افت می‌کند به طوری‌که ولتاژ در خروجی Y تقریباً برابر سطح پتانسیل زمین (صفر ولت) می‌شود که در این

حالت وضعیت «وصل» در ترانزیستور با حالت یک مدار بسته مطابقت دارد.

البته ولتاژ تقسیم شده روی مقاومت‌های R_1 و R_2 بدین صورت نیز اندازه‌گیری می‌شود که اگر در ورودی X ولتاژ سیگنال صفر ولت داشته باشیم در آن صورت پتانسیل بیس نسبت به امیتر که به زمین وصل می‌شود، مثبت می‌گردد که در این حالت از ولتاژ کمکی U_H- استفاده می‌شود. در واقع به محض آنکه ولتاژ بیس نسبت به امیتر مثبت شود، ترانزیستور خاموش یا قطع می‌شود و در نتیجه حلقهٔ امیتر ـ کلکتور مقاومت زیادی را نشان می‌دهد، از مقاومت R عملاً دیگر جریانی عبور نمی‌کند و خروجی Y نیز دارای ولتاژ منفی U- می‌شود که در این حالت وضعیت «قطع» با حالت یک مدار باز مطابقت دارد.

بنابراین در مورد رابطهٔ بین ورودی X و خروجی Y ترکیب زیر معتبر است:

X	Y
OV	-U
-U	OV

این مدار منطق مقاومت ـ ترانزیستور که ترکیب ساخت آن مشابه «مدار امیتر مشترک» است به عنوان یک مدار گیت نفی عمل می‌کند.

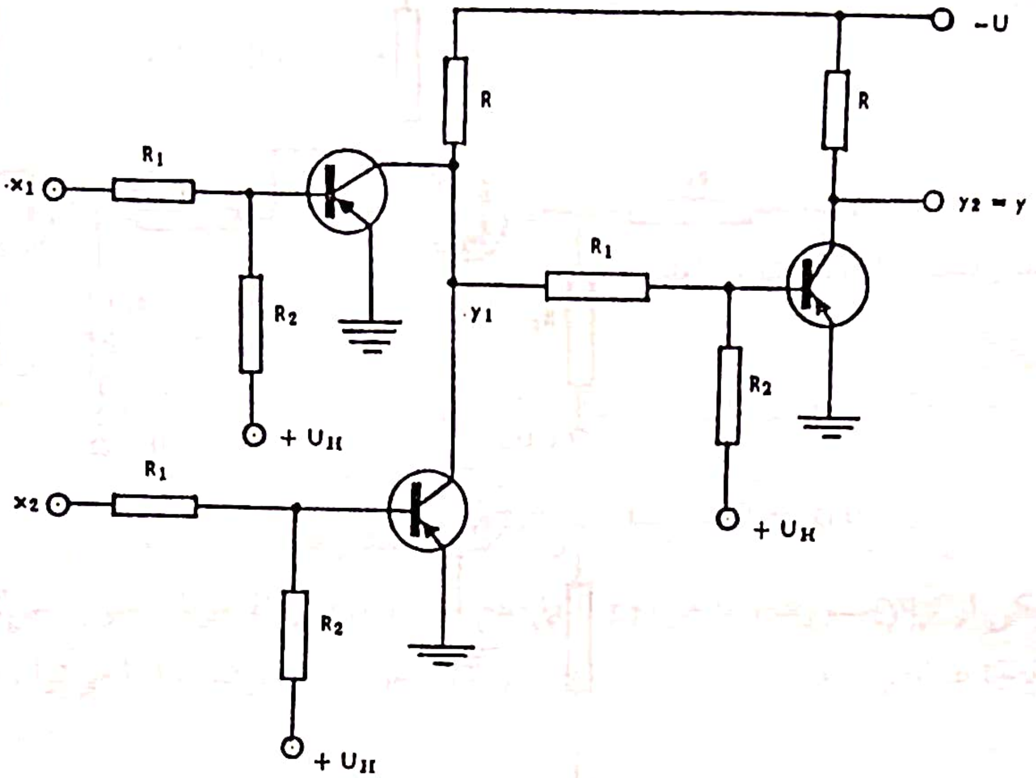
بنابراین صدق می‌کند:

oVolt = „L“

-U = „O“

حال اگر دو مدار ترانزیستور مطابق شکل ۴ به یک بار مقاومتی مشترک R به‌طور موازی بسته شوند در آن صورت در خروجی Y_1 نفی مدار گیت AND بدست می‌آید.

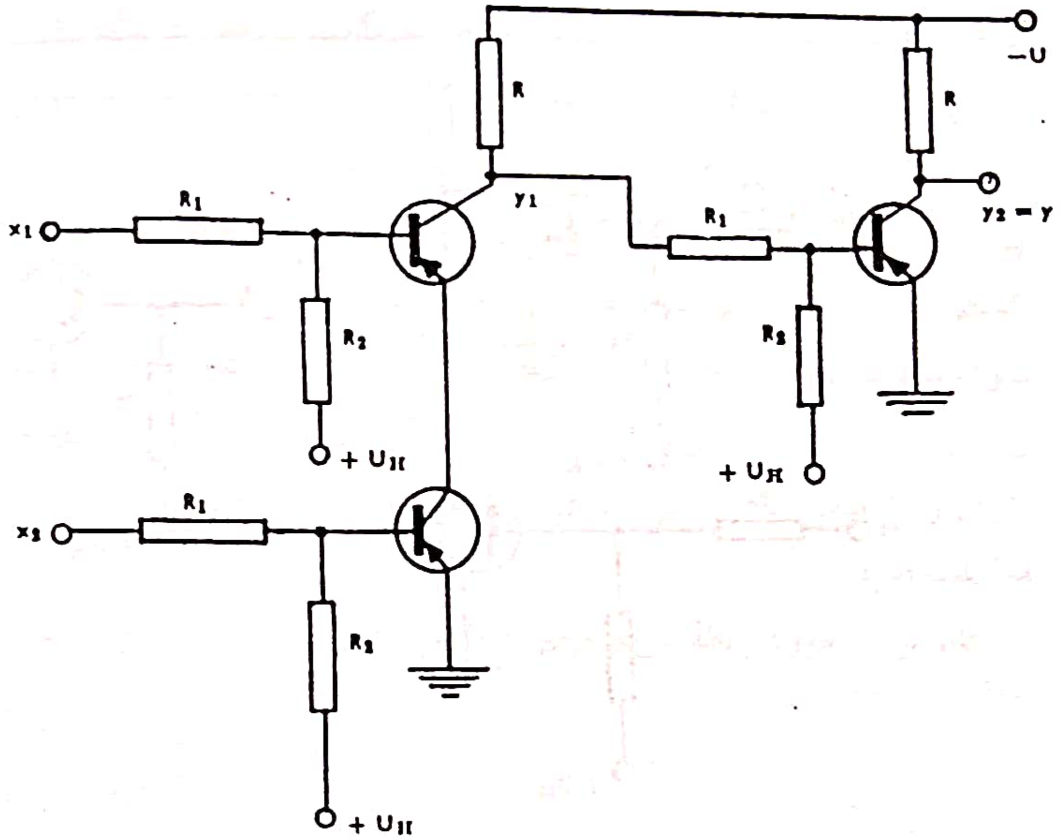
$$Y_1 = \overline{X_1 . X_2} = \bar{X}_1 + \bar{X}_2$$



شکل ۴ : مدار گیت AND دارای ترانزیستورهائی با دو ورودی

X_1	X_2	y_1	$y_2 = y$
OV	OV	-U	OV
- U	OV	OV	- U
OV	- U	OV	- U
-U	- U	OV	- U

جدول ۱



شکل ۵ : مدار گیت OR دارای ترانزیستورهائی با دو ورودی

اگر به‌خروجی Y_1 یک مدار ترانزیستور دیگری (معکوس‌کننده) متصل شود در آن صورت در خروجی ۲Y مدار گیت AND با متغیرهای ورودی X_1 و X_2 بدست می‌آید.

$Y_2 = Y = X_1 . X_2$

در جدول ۱ وابستگی این متغیرها به‌صورت جداگانه در کنار یکدیگر نمایش داده می‌شود. باتوجه به این جدول می‌توان دریافت که فقط اگر به ورودی‌های X_1 و X_2 ولتاژ صفر ولت اعمال شود در آن صورت ولتاژ خروجی در نقطهٔ Y صفر ولت می‌شود و در حالت‌های دیگر ولتاژ خروجی Y دارای مقدار U - می‌گردد.

به‌همین ترتیب همانطور که در شکل ۵ نشان داده می‌شود با بستن دو مدار ترانزیستور به‌طور سری، مدار گیت OR با دو ورودی بدست می‌آید به‌طوری‌که در این حالت کلکتور هر مدار ترانزیستور به امیتر مدار ترانزیستور دیگر متصل می‌شود و در خروجی Y_1 ترانزیستورهائی که به طور سری بسته شده‌اند، نفی مدار گیت OR بدست

می‌آید:

$$Y_1 = \overline{X_1 + X_2} = \bar{X}_1 \,.\, \bar{X}_2$$

همچنین با استفاده از یک مدار نفی که به Y_1 بسته می‌شود، در خروجی $Y_2 = Y$ مدار گیت OR بدست می‌آید:

$$Y_2 = Y = X_1 + X_2$$

حال اگر به‌ورودی‌های X_1 و X_2 ولتاژ منفی („O“) U- اعمال شود، در آن صورت فقط از هر دو ترانزیستورهائی که به‌طور سری بسته شده‌اند، جریان عبور می‌کند اما برعکس اگر ولتاژ X_1 یا X_2 و یا X_1 و X_2 دارای مقدار صفر ولت باشد، در آن صورت یکی از ترانزیستورها و یا هر دوی آنها قطع می‌شوند و از R جریان عبور نمی‌کند. در اینجا همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود هر یک از ترکیب‌ها را می‌توان بدست آورد.

X_1	X_2	y_1	$y_2 = y$
OV	OV	-U	OV
- U	OV	- U	OV
OV	- U	- U	OV
-U	- U	OV	- U

جدول ۲

ویرایش کتاب پس از تالیف توسط:

Prof. Dr. Lothar Zwick, Konstanz

مراجع:

Ein Teil der Texte und Zeichnungen Wurde den unten aufgeführten Werken entnommen. Die Angabe "verändert " bezieht sich auf die Zeichnungen; die Änderungen bestehen hauptsächlich in der Vereinheitlichung der Symbole und deren Indices.

Originaltexte und Zeichnungen von L. Zwick:
S. 176 - 178, 190 - 192, 239, 327, 336, 345, 347, 359 - 361, 364-366, 381, 386 - 390, 405, 425, 426, 460, 475.

Bauer, Goos, "Informatik", Heidelberger Taschenbücher, Springer Verlag, Heidelberg 1973, S. 18, 26, 31, 190.
NTF 4: S. 524, 528, 529, 531, 534, 535, 557.

Bödefeld, Sequenz, "Elektrische Maschinen", 8.Aufl. Springer Verlag, Heidelberg 1971, S.489, 490.
NTF 4: S.329-330.

Bosse, G, " Grundlagen der Elektrotechnik I", Bibliographisches Institut, Mannheim 1969, S.99, 100.
NTF 4: s. 71, 72, 73.

Bystron, K,. "Technische Elektronik Bd. I", Carl Hanser Verlag, München 1976, S. 4, 13(verändert), 96 - 99.
NTF 4: S. 455, 456, 459, 460, 489 - 490, 503, 505, 509.

Claussnitzer, H. "Einführung in die Elektrotechnik", 7. Auflage 1980, © VEB Verlag Technik, Berlin, DDR, S.30(verändert), 52(verändert), 83(verändert), 96 - 87, 101, 108, 109, 119(verändert), 153 - 155(verändert), 205 - 207, 212, 215, 216, 231, 232(verändert), 241(verändert), 249(verändert), 270, 271 (verändert), 272, 280 - 281, 287(verändert) , 303, 304, 310 - 313, 317 - 318.
NTF 4: S. 48, 86, 124, 146, 148, 162 - 164, 168 - 171, 223 - 224, 230, 232, 234, 236, 237, 238, 239, 258, 263, 273 - 276, 304, 305, 306, 314, 315, 323, 324, 327, 336, 337, 345, 346, 347, 349, 350 , 351, 356, 409, 422, 425, 426, 433, 453 - 454 , 467, 468, 506 - 508, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 551, 552.

Conrad, "Einführung in die Elektrotechnik", Heyne Sachbuch, © VEB Verlag Volk und Gesundheit Berlin, DDR, S. 187(verändert).
NTF 4: S. 323.

Fisher, H. "Werkstoffe in der Elektrotechnik", Carl Hanser Verlag, München 1978, S .190(verändert).
NTF 4: S. 102.

Fisher, R. "Elektrische Maschinen", Carl Hanser Verlag , München 1977, S. 33 (verändert), 37, 107.
NTF 4: S. 316, 319, 326, 348, 407.

Frank, H.(Hrsg.), "Welt im Werden - Kybernetische Maschinen" , S. Fischer Verlag, Frankfurt 1964, S. 48 - 53.
NTF 4: S. 577 - 578.

Haug, A. "Grundzüge der Elektrotechnik zur Schaltungsberechnung", Carl Hanser Verlag , München 1975, S. 117, 313.
NTF 4: S. 294, 347, 348.

Herter, Röcker, "Nachrichtentechnik", Carl Hanser Verlag, München 1976, S. 17, 72 - 73, 74, 81 - 82, 88(verändert).
S. 417, 549, 550, 558, 568 - 569, 595, 596, 599.

Lehmann, J.G. "Dioden und Transistoren", vogel Verlag, Würzburg 1977, S. 12, 14 - 17, 34(verändert), 54, 134 - 135.
NTF 4: S. 441, 445, 449, 450, 462, 481 - 509, 515, 516, 570.

Leonhardt, E. "Grundlage der Digitalrechnung", Carl Hanser Verlag, münchen 1976, S. 144, 145, 156.
NTF 4:S. 532, 533, 536, 564 - 565.

"Meyers Lexikon der Technik und der exakten Naturwissenschaften", Biliografisches Institut, Mannheim 1969, S. 528 - 529, 1491.
NTF 4: S. 414, 573 - 574.

Michel, M. "Einführung in die Allgemeine Elektrotechnik", Verlag de Gruyter, Berlin 1975, S. 12(verändert), 63 - 65.
NTF 4: S. 100, 310 - 311.

Moeller, Fricke, Frohne, Vaske, "Leitfaden der Elektrotechnik" Bd. 1, Teubner Verlag, Stuttgart 1971[14] und 1976[16], S. 10(verändert), 26 - 28 (verändert), 31, 32(verändert), 34(verändert); 35, 42, 46(verändert), 48, 55, 69 (verändert), 72(verändert), 74(verändert), 75, 79, 112, 150(verändert), 165 (verändert), 181(verändert), 183(verändert), 186, 189,(verändert), 232 (verändert), 233(verändert), 253, 255, 256, 264(verändert), 265(verändert),

293, 294(verändert), 300, 301, 303, 307, 311, 314, 476(verändert), 15, Aufl. 1972, S. 78.

NTF 4: S. 21, 23, 25, 27, 32, 33, 34, 35 , 36, 37, 38, 40, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 63, 64, 65, 66, 69, 70, 77, 79, 80, 84, 92, 98, 99, 101, 104, 105, 106, 107, 108 , 109, 110, 111, 112, 113, 115, 116, 120, 124, 125, 126, 128, 145, 149, 154, 155, 216, 217, 243, 244, 245, 247, 249, 250, 251, 252, 253, 256 - 257, 258, 266, 281 - 283, 288, 299, 300, 457, 458, 464, 466, 467, 469, 470, 474 - 475.

Pohl, E. "Nachrichtentechnik", Vogel Verlag, Würzburg 1978[4], S. 40 - 42 (verändert), 52, 53.

NTF 4: S. 423, 424, 425, 426, 428, 429, 430 - 431, 434, 493 - 495.

Pütz, J,. (Hrsg), "Digitaltechnik. Eine Einführung fur Anfänger". VDI Verlag, Düsseldorf 1978[6], S. 23, 136.

NTF 4: S. 530, 555, 556, 594.

Reiser, J, "Elektrische Maschinen Bd, lll", Carl Hanser Verlag, München, S.11.

NTF 4: S. 317, 318.

Reth, Kruschwitz, Müllenborn, "Grundlage der Elektrotechnik", Vieweg Verlag, Braunschweig 1975, S. 43, 140(verändert), 141, 149(verändert), 151 - 152(verändert), 159 - 161(verändert), 166 - 167(verändert), 170, 191 - 193, 196, 206, 208 - 209, 219, 233 - 234, 236, 240, 241, 243, 248 - 250, 253, 256, 260, 261, 264, 265, 268, 297, 300, 307, 336(verändert).

NTF 4: S. 88,. 118 - 119, 132 - 136, 137, 138, 139, 140, 141, 143 - 144, 151, 152, 157 - 158, 165, 183 - 184, 195, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 213, 214, 219, 226 - 227, 235, 259, 260 - 261, 262, 277 - 278, 290 - 291, 319, 321 ... 369, 373, 286 - 287, 377 - 378, 381, 398, 400 - 402, 403 - 404, 406, 407, 410, 448.

Steinbuch, K, Weber , W.(Hrsg), " Taschenbuch der Informatik I", Springer Verlag, Heidelberg 1974, S. 64.
NTF 4: S. 520.

Stoll, D. "Einführung in die Nachrichtentechnik" AEG - Telefunken, Frankfurt 1979, S. 19, 20, 62(verändert), 66(verändert), 76(verändert).
NTF 4: S. 414 - 415, 420, 439 - 440, 469, 471 - 472, 503.

Tietze, U., Schenk, Ch ., "Halbleiterschaltungstechnik", Springer Verlag, Heidelberg 1978 , S. 23(verändert), 26 - 29, 140, 141, 146, 163.
NTF 4: S. 483 , 486 - 487, 488, 503, 553 - 554, 559, 589, 590.

Weiss, v. A., "Allgemeine Elektrotechnik", Vieweg Verlag, Wiesbaden 1972 Bd. 1 S. 12(verändert), 15(verändert), 20, 21, 39, 42, 43(verändert), 76(verändert), Bd II S.1 (verändert), 2(verändert), 6 - 10.
NTF 4: S. 23, 42, 43, 44, 50, 55 - 56, 57 - 59, 62 - 63, 120, 121, 123.

فهرست

فصل اول

مدارهای جریان الکتریکی ساده و انشعابی ۱
اتصال سری وموازی مصرف‌کننده‌ها ۲
دوقطبی ۱۰
اندازهٔ ولتاژهای تقسیم‌شده و مقاومت کل ۲۴
مقاومت، قانون اهم ۳۳
مدارهای پُل ۴۲
اتصال سری منابع ولتاژ ۵۶
دوقطبی خطی ۵۸
اِلمانهای مربوط به ساده‌ترین مدار جریان الکتریکی ۵۹
اشاره‌ای به محاسبهٔ مدارهای سری - موازی ۶۰

فصل دوم

میدانهای الکتریکی و مغناطیسی ۶۱
مغناطیس ۶۲
القای الکتریکی ۸۱
واحدهای کمیت‌های میدان مغناطیسی ۹۶
پدیدهٔ هیسترزیس ۱۱۰
ظرفیت ۱۲۷
مدارهای مغناطیسی با هستهٔ آهنی و شکاف هوائی ۱۲۹
میدان مغناطیسی در آهن ۱۳۱
گشتاور مغناطیسی ۱۳۴
قانون لنز ۱۳۸

فصل سوم

مدارهای جریان الکتریکی متناوب ۱۴۱
تولید جریان متناوب ۱۴۲
نمایش برداری کمیت‌های متناوب ۱۵۸
دوقطبی در جریان متناوب سینوسی ۱۶۴
دوقطبی پاسیو جریان متناوب ۱۷۵
ولتاژ، جریان و زاویهٔ فاز ۱۷۶
خصوصیات درقطبی‌های جریان متناوب ۱۸۴
مقاومت‌های جریان متناوب ۱۸۹
سیم‌پیچی چوک ۱۹۲
میدان دوار ۱۹۶
نمایش برداری کمیتهای متناوب سینوسی ۱۹۹
بُردار ۱۹۹

فصل چهارم

ماشینهای الکتریکی ۲۰۳
تأثیر متناوب در میدان الکتریکی و مغناطیسی (قانون اندوکسیون) ۲۰۴
تأثیر جریان در کموتاتور ۲۲۰
ژنراتور کمپوند ۲۳۵
انواع تراتسفورماتورها ۲۴۷
ژنراتورها ۲۴۹
موتور DC ولتاژ القائی ۲۵۴
مقاومت راه‌انداز ۲۵۵
ترانسفورماتور تکفاز در حالت بی‌باری و بارداری ۲۵۶

فصل پنجم

اِلمانها ۲۵۹
میکروفن ۲۶۰
لامپ‌های الکترونی ۲۷۲

دیودها ۲۷۲
لامپ‌های الکترونی ۲۸۲
نیمه هادی‌ها ۲۹۶
ولتاژ سد ۳۰۸
ترانزیستورها ۳۱۷
لامپ‌های الکترونی دارای شبکه ۳۲۰
ترانزیستور ۳۲۴
میدان‌های منحنی مشخصهٔ ترانزیستور ۳۲۷
منحنی مشخصهٔ ورودی ۳۲۷
اِلمان‌های نیمه هادی ۳۳۰
اتصال PN ۳۳۱
دیودها ۳۳۲

فصل ششم

پردازش اطلاعات ۳۳۵
فرآیندهای کلیدی در مدار ۳۳۶
کُد ۳۵۱
رله ۳۵۷
کدبندی ۳۸۲
توابع منطقی اصلی ۳۸۵
تابع OR (مدار گیت OR یا جمع منطقی) ۳۸۶
تابع AND (مدار گیت AND یا ضرب منطقی) ۳۸۶
تابع NOT (مدار گیت NOT) ۳۸۶
فلیپ فلاپ دو پایا با ترانزیستورهای در حالت اشباع ۳۸۷
توابع منطقی دارای دیودهای نیمه‌هادی ۳۸۹
توابع منطقی دارای ترانزیستور ۳۹۱
مراجع ۳۹۶
فهرست ۴۰۱

NTF
Hinführung zur naturwissenchaftlich-technischen Fachsprache Elektronik / Informatik mit den Grundlagen der Elektrotecknik

شابک : ۹۶۴-۶۰۲۲-۸۶-۳
ISBN: 964-6022-86-3

مؤسسهٔ نشر جهاد
تلفکس : ۶۴۰۸۴۶۵